

**Einfluß bodenchemischer Standortfaktoren
auf Wachstum und pharmazeutische Qualität von Eichenmisteln
(*Viscum album* auf *Quercus robur* und *petraea*)**

Von der Fakultät für Lebenswissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina

zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften

(Dr. rer. nat.)

genehmigte

D i s s e r t a t i o n

von Hartmut Ramm
aus Duttonstedt

1. Referent: Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug

2. Referent: Prof. Dr. Dirk Selmar

eingereicht am: 28. Juni 2006

mündliche Prüfung (Disputation) am: 28. September 2006

Druckjahr 2006

Vorveröffentlichungen der Dissertation

Teilergebnisse aus dieser Arbeit wurden mit Genehmigung der Fakultät für Lebenswissenschaften, vertreten durch den Mentor der Arbeit, in folgenden Beiträgen vorab veröffentlicht:

Publikationen:

Ramm H.: Untersuchungen zum Einfluß dreier Böden auf Wachstum und Entwicklung der Eiche unter Berücksichtigung der Mykorrhiza und mit Blick auf die Eignung als Wirt für die Laubholzmistel (Diplomarbeit). Botanisches Institut Universität Basel (1990)

Ramm H., Urech K., Scheibler M., Grazi G.: Cultivation and development of *Viscum album* L. In: Büssing A. (ed.) Mistletoe - The Genus *Viscum*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers: 75-94 (2000)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VII
Abbildungen und Tabellen im Anhang	XIII
1 Einleitung	I
2 Zur Entwicklung der Weißbeerigen Mistel (<i>Viscum album L.</i>)	8
2.1 Mistelhaustorium und Wirtsresistenz	8
2.2 Nährstoffversorgung der Mistel durch das Wirtsxylem	12
2.3 Zeit- und Raumstrukturen der Sproßentwicklung	18
2.4 Generative Entwicklung	24
2.5 Morphologie und Standortfaktoren	27
3 Material und Methoden	28
3.1 Nomenklatur und Systematik	28
3.2 Gefäßversuche	28
3.3 Freiland-Untersuchungen	33
3.4 Bodenanalysen	38
3.5 Pflanzenanalysen	39
3.6 Mineralstoffanalysen in pharmazeutischen Extrakten	41
3.7 Statistik	43
4 Ergebnisse	44
4.1 Natürliche Eichenmistel-Standorte	44
4.1.1 Bodenanalysen	46
4.1.2 Mineralstoffe in Eichenblättern	53
4.1.3 Mineralstoffe in Eichenmisteln	58
4.1.4 Mineralstoff-Anreicherung in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern	63
4.2 Kultivierte Eichenmistel-Standorte	67
4.2.1 Bodenanalysen	67
4.2.2 Mineralstoffe in Eichenblättern	71
4.2.3 Mineralstoffe in Eichenmisteln	75

4.3 Untersuchungen zum Eichenwachstum auf unterschiedlichen Böden	80
4.3.1 Vergleich der Böden und Eichen vom "Kalk"- und "Ton"-Standort	80
4.3.2 Gefäßversuche mit Eichen auf "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden	83
4.3.3 Mistelempfänglichkeit von Eichen	92
4.4 Einfluß von Standortfaktoren auf die Eichenmistel-Kultivierung	95
4.4.1 Mistelempfänglichkeit vegetativ und generativ vermehrter Eichen	95
4.4.2 Mistelkultivierung mit direkt auf Endstandorten ausgesäten Eichen	100
4.5 Potentiell toxische Elemente in Eichenmisteln	104
4.6 Wirtsspezifische Mineralstoff-Verhältnisse in Mistelpräparaten	108
4.6.1 Mineralstoff-Gehalte im pharmazeutischen Endprodukt (Iscador®)	108
4.6.2 Mineralstoff-Gehalte in Extrakten aus Sommer- und Wintermisteln	111
4.6.3 Mineralstoff-Gehalte in Misteln von verschiedenen Wirtsbäumen	114
5 Diskussion	116
5.1 Mineralstoff-Verhältnisse auf natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten	116
5.1.1 Zeitlich, räumlich und genetisch bedingte Variationen	116
5.1.2 Bodenparameter	120
5.1.3 Mineralstoff-Verhältnisse in Eichenblättern	122
5.1.4 Mineralstoff-Verhältnisse in Eichenmisteln	124
5.1.5 Vom Boden abhängige Wirtsspezifität der Mn-Gehalte in Eichenmisteln	126
5.1.6 Besonderheiten der Fe-Versorgung von Eichenmisteln	132
5.1.7 Selektive Mineralstoff-Aufnahme durch Wirt und Mistel	134
5.2 Einflüsse von kalk-induziertem Mn-Mangel in Eiche und Mistel	136
5.2.1 Einfluß auf das Wachstum von Eichen	136
5.2.2 Einfluß auf die Mistelempfänglichkeit von Eichen	139
5.2.3 Einflüsse von Bodenparametern auf die Eichenmistel-Kultivierung	142
5.3 Potentiell toxische Elemente in Eichenmisteln	145
5.4 Boden- und wirtsabhängige Mineralstoffe in Mistelextrakten	147
5.4.1 Mineralstoff-Gehalte im pharmazeutischen Endprodukt (Iscador)	147
5.4.2 Mineralstoffe in Extrakten aus Sommer- bzw. Wintermisteln	150
5.5 Therapeutische Relevanz von Mineralstoffen in der Krebstherapie	153
6 Zusammenfassung / Summary	156
7 Literatur	161
8 Anhang	176

Abbildungsverzeichnis

Abb.1.1: Weißbeerige Mistel (<i>Viscum album</i> L. auf <i>Betula pendula</i> Roth.)	2
Abb. 1.2: Unterarten der Weißbeerigen Mistel (<i>Viscum album</i>)	3
Abb. 1.3: Misteltragende Eiche (<i>Quercus robur</i>)	4
Abb. 1.4: Eichenmistelernte auf einem natürlichen Standort in Frankreich	5
Abb. 1.5: Eichenmistel (<i>Viscum album</i> auf <i>Quercus robur</i>)	7
Abb. 2.1a: Misteldrossel (<i>Turdus viscivorus</i>)	8
Abb. 2.1b: Mönchsgrasmücke (<i>Sylvia atricapilla</i>)	9
Abb. 2.2: Keimende Mistel (<i>Viscum album</i> auf <i>Quercus robur</i>)	10
Abb. 2.3: Mistelhaustorium (<i>Viscum album</i>) in der Wirtsrinde (<i>Malus domestica</i>)	10
Abb. 2.4: Haustorialstamm der Mistel (<i>Viscum album</i> auf <i>Malus domestica</i>)	11
Abb. 2.5: Mistelkeimling mit etabliertem Senker (<i>Viscum album</i> auf <i>Malus domestica</i>)	12
Abb. 2.6: Mistelsenker im jungen Holz (<i>Viscum album</i> auf <i>Malus domestica</i>)	13
Abb. 2.7: Haustorialsystem von <i>Viscum album</i>	14
Abb. 2.8: Xylemverbindung zwischen Mistelsenker und Wirtsholz	16
Abb. 2.9: Wachsende Mistelkeimlinge (<i>Viscum album</i> auf <i>Malus domestica</i>)	18
Abb. 2.10: Dreijährige Mistel (<i>Viscum album</i>)	19
Abb. 2.11: Jahrestriebe von <i>Viscum album</i> und <i>Loranthus europaeus</i>	19
Abb. 2.12: Sproßentwicklung von <i>Viscum album</i>	21
Abb. 2.13: Variabilität zweijähriger Zweige von <i>Viscum album</i> im Winterzustand	21
Abb. 2.14: Achselknospen von <i>Viscum album</i>	22
Abb. 2.15: Nutationsbewegungen bei <i>Viscum album</i>	22
Abb. 2.16: Zweihäusigkeit von <i>Viscum album</i>	24
Abb. 2.17: Mistelbestäubung durch Fliegen (<i>Muscidae</i>)	24
Abb. 2.18: Fruchtentwicklung der Mistel (<i>Viscum album</i>)	25
Abb. 2.19: Mistelfrucht (<i>Viscum album</i>)	26
Abb. 3.1a: Großer Wurzelkasten (WUG)	28
Abb. 3.1b: Kleiner Wurzelkasten (Wug)	29
Abb. 3.1c: Eichen im Gefäß-Versuch	29
Abb. 3.2: Mistelaussaat auf veredelter Eiche	35
Abb. 3.3: Zur Aussaat vorbereitete Mistelkerne aus Früchten von <i>Viscum album</i>	35
Abb. 3.4: Zur Direktsaat von Eichen vorbereiteter Saatplatz	36
Abb. 3.5: Wachsende Keimlinge von <i>Viscum album</i>	37
Abb. 3.6: Weißbeerige Mistel (<i>Viscum album</i>) im Winter und im Sommer	39

Abb. 3.7: Schematische Darstellung der pharmazeutischen Mistelverarbeitung	41
Abb. 4.1: Ernteeichen bzw. Saateichen von natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich, differenziert nach der Eichenart	45
Abb. 4.2: Verteilung natürlicher Eichenmistel-Standorte in Frankreich auf generelle Nutzungsbereiche	45
Abb. 4.3: Verteilung der Eichenarten auf pH_{KCl} -Klassen im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte	50
Abb. 4.4: Beziehung zwischen dem Ca_{extr} -Gehalt und dem pH_{KCl} im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte	51
Abb. 4.5: Beziehung zwischen dem Ca_{extr} - und dem Fe_{extr} -Gehalt im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte	52
Abb. 4.6: Mittlere Mn_{extr} -Gehalte in den pH_{KCl} -Klassen der Böden natürlicher Eichenmistel-Standorte	52
Abb. 4.7: Beziehung zwischen dem Ca_{extr} -Gehalt im Boden und dem Mn-Gehalt in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni	57
Abb. 4.8: Beziehung zwischen dem pH_{KCl} im Boden, dem Mn-Gehalt in Eichenblättern und dem Mn-Gehalt in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni	62
Abb. 4.9: Beziehung zwischen dem Fe-Gehalt in Eichenblättern und der Fe-Verlagerung in Eichenmisteln, verglichen mit Eichenblättern (=100%), von natürlichen Eichenmistel-Standorten	65
Abb. 4.10: Verlagerung (%) von Mineralstoffen in die Eichenmisteln, verglichen mit dem Gehalt in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni	66
Abb. 4.11: Beziehung zwischen dem Ca_{extr} -Gehalt und dem pH_{KCl} -Wert im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte	70
Abb. 4.12: Beziehung zwischen dem pH_{KCL} und dem Fe_{extr} -Gehalt im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte	70
Abb. 4.13: Beziehung zwischen dem pH_{KCL} und dem Mn_{extr} -Gehalt im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte	70
Abb. 4.14: Beziehung zwischen dem pH_{KCl} im Boden und dem Mn-Gehalt in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten	74
Abb. 4.15: Beziehung zwischen dem Ca_{extr} -Gehalt im Boden und dem Fe-Gehalt in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten	74
Abb. 4.16: Beziehung zwischen dem Ca_{extr} -Gehalt im Boden und dem Mn-Gehalt in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten	78
Abb. 4.17: Beziehung zwischen dem pH_{KCl} und dem Fe-Gehalt in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten	79
Abb. 4.18: Chlorotische und grüne Blätter von kultivierten Misteleichen	80
Abb. 4.19: Länge der Pfahlwurzel von Eichensämlingen in großen Wurzelkästen auf den unbehandelten bzw. mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"- bzw. "Ton"-Böden im Jahr 1988	83
Abb. 4.20: Mittlerer Sproßzuwachs (mm) junger Eichen (<i>Quercus robur</i>), gewachsen in großen Wurzelkästen (WUG) auf den unbehandelten bzw. mit Eichenhumus durchmischten Böden vom "Kalk"- bzw. "Ton"-Standort, in der zweiten Vegetationsperiode	85

Abb. 4.21: Typische Laubblätter von Eichensämlingen, gewachsen auf den unbehandelten und mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"- und "Ton"-Böden im ersten Wachstumsjahr (1988)	85
Abb. 4.22: Junge Mistel auf Eichensämling (<i>Quercus robur</i>) in großem Wurzelkasten	86
Abb. 4.23: Mittlere Wurzel- und Sproßgewichte von Eichensämlingen (<i>Quercus robur</i>), gewachsen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden	88
Abb. 4.24: Mykorrhizierte Seitenwurzeln von Eichensämlingen, gewachsen auf dem unbehandelten "Kalk"-Boden (links), "Ton"-Boden (Mitte) und "Sand"-Boden (rechts)	89
Abb. 4.25: Seitenwurzeln von Eichensämlingen, gewachsen auf dem sterilisierten "Kalk"-Boden (links), "Ton"-Boden (Mitte) und "Sand"-Boden (rechts)	89
Abb. 4.26: Mittlere Mn- und Fe-Gehalte in Sproß bzw. Wurzel von Eichensämlingen, gewachsen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden	91
Abb. 4.27: Junge Mistelkeimlinge (<i>Viscum album</i>)	93
Abb. 4.28: Anzahl misteltragender Eichen auf "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden im Gefäßversuch	93
Abb. 4.29: Anteil mistelempfänglicher Eichen (%) auf kultivierten Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden	97
Abb. 4.30: Beziehung zwischen dem pH _{H₂O} im Boden und dem Anteil (%) mistelempfänglicher Eichen aus Veredelung und Baumschulanzucht	97
Abb. 4.31: Entwicklung der Erntemengen (kg Frischmasse) von kultivierten Eichenmistel-Standorten	98
Abb. 4.32: Erntemengen für Eichenmistel-Beeren (kg Frischmasse) im Winter 2003, 2004 und 2005	99
Abb. 4.33: Direktsaat von Eichen am Endstandort	100
Abb. 4.34: Keimrate von Eichensämlingen und Anteil (%) Misteleichen bei Erstaussaat und Nachsaat	102
Abb. 4.35: Misteltragende Eiche (<i>Quercus robur</i>) am Standort Rotenburg	103
Abb. 4.36: Beziehung zwischen dem pH _{KCl} im Boden und dem Al-Gehalt in Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Standorten im Juni	107
Abb. 4.37: Beziehung zwischen dem pH _{KCl} -Wert im Boden und dem Pb-Gehalt bzw. dem Ni-Gehalt in Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Juni	107
Abb. 4.38: Mittlere Mn-Gehalte (mg l ⁻¹ Mn) in Extrakten (Iscador®) aus Misteln von den Wirtsbäumen <i>Abies</i> , <i>Malus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i>	109
Abb. 4.39: Mn:Ca-Verhältnis in Mistelextrakten (Iscador®) von den Wirtsbäumen <i>Abies</i> , <i>Malus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i>	109
Abb. 4.40: Mittlere Fe-Gehalte (mg l ⁻¹ Fe) in Extrakten (Iscador®) aus Misteln von den Wirtsbäumen <i>Abies</i> , <i>Malus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i>	109
Abb. 4.41: Mittlere Na-Gehalte (mg l ⁻¹ Na) in Extrakten (Iscador®) aus Misteln von den Wirtsbäumen <i>Abies</i> , <i>Malus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i>	110
Abb. 4.42: Ca-Gehalte in Sommer- und Winter-Extrakten aus Misteln von den Wirtsbäumen <i>Abies</i> , <i>Malus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i>	112

Abb. 4.43: Mineralstoff-Anteil in Extrakten aus Eichenmisteln, bezogen auf Mineralstoff-Gehalte im Juni bzw. Dezember beprobter Eichenmisteln von natürlichen Standorten	114
Abb. 4.44: Mn-Gehalt in Misteln (<i>Viscum album</i>) von verschiedenen Wirten (<i>Abies</i> , <i>Malus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i>) auf natürlichen und kultivierten Standorten mit sauren bzw. basischen Böden	115
Abb. 5.1: Prozentualer Anteil von Böden in den pH _{KCl} -Klassen nach Scheffer-Schachtschabel (1979) auf natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich, differenziert nach Ernte und Saateichen	121
Abb. 5.2: Veredelte Misteleichen auf dem Standort Rotenburg	129
Abb. 5.3: Mn-Kreislauf auf einem Eichenmistel-Standort mit saurem Boden	130
Abb. 5.4: Mistelsenker (<i>Viscum album</i> auf <i>Malus domestica</i>)	133
Abb. 5.5: Senker von <i>Viscum album</i> im jungen Holz von <i>Malus domestica</i>	134
Abb. 5.6: Offene Xylem-verbinding zwischen Mistel und Wirt (<i>Viscum album</i> auf <i>Malus domestica</i>)	135
Abb. 5.7: Chlorotische Eiche am "Kalk"-Standort Höfli	136
Abb. 5.8: Zweijährige Eichen (<i>Quercus robur</i>) in großen Wurzelkästen	137
Abb. 5.9: Wurzeln von Eichen auf "Kalk"-Boden:	138
Abb. 5.10: Lebende Mistelkeime auf Eichen im Gefäßversuch mit "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Boden	139
Abb. 5.11: Mistelhaustorien (<i>Viscum album</i>) auf Eiche (<i>Quercus robur</i>)	140
Abb. 5.12: Vierjährige Mistel (<i>Viscum album</i>) auf einer jungen Stieleiche (<i>Quercus robur</i>)	141
Abb. 5.13: Verschulte 14-jährige Eichen auf dem kultivierten Standort Nusshofen	142
Abb. 5.14: Anteil mistelempfänglicher Eichen in unterschiedlich vermehrten Eichenbeständen auf kultivierten Standorten mit sauren und basischen Böden	143
Abb. 5.15: 15-jährige direkt am Endstandort gesäte Eiche	144
Abb. 5.16: Etwa 30-jährige kultivierte Ernteeiche mit großen Mistelbüschen auf dem Standort Disli	146
Abb. 5.17: Traubeneiche (<i>Quercus petraea</i>) mit sechsjähriger Mistel (<i>Viscum album</i>)	148
Abb. 5.18: K:Ca-Verhältnis in wirtsspezifischen Mistelpräparaten (Iscador®)	149
Abb. 5.19: Mn:Ca-Verhältnis in Boden, Eichenblättern und Misteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten sowie in pharmazeutischen Extrakten und im Iscador® aus Eichenmisteln	151

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Merkmale der in Gefäßversuchen eingesetzten Böden	29
Tab. 3.2: Behandlung der in Gefäßversuchen eingesetzten Böden	30
Tab. 3.3: Bonitierung der Blattfarbe von Eichenblättern gemäß Munsell-Code für Pflanzengewebe	31
Tab. 3.4a: Böden, Behandlungen, Versuchs- und Zielp Parameter in großen Wurzelkästen (WUG)	32
Tab. 3.4b: Böden, Behandlungen sowie Versuchs- und Zielp Parameter in kleinen Wurzelkästen (Wug)	32
Tab. 3.4c: Böden, Behandlungen sowie Versuchs- und Zielp Parameter im Gefäßversuch mit Tontöpfen	32
Tab. 3.5: Untersuchte Bodenparameter, Bestimmungsmethoden und Richtwerte nach Balzer (2002)	38
Tab. 4.1: Deskriptive Statistik für Bodenparameter natürlicher Eichenmistel-Standorte	46
Tab. 4.2: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren in den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte	48
Tab. 4.3: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten in den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte	48
Tab. 4.4: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede in den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte mit basischem bzw. saurem $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert im Boden	49
Tab. 4.5: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede in den Bodenparametern verschieden genutzter natürlicher Eichenmistel-Standorte	49
Tab. 4.6: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Eichenarten in den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte	50
Tab. 4.7: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte	51
Tab. 4.8: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	53
Tab. 4.9: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	53
Tab. 4.10: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	54
Tab. 4.11: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	54
Tab. 4.12: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	54
Tab. 4.13: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden	55

Tab. 4.14: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Mineralstoff-Gehalten in Eichenblättern und Bodenparametern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni	56
Tab. 4.15: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen den Element-Gehalten in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni	57
Tab. 4.16: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	58
Tab. 4.17: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	58
Tab. 4.18: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	59
Tab. 4.19: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	59
Tab. 4.20: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	59
Tab. 4.21: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit verschiedenen Eichenarten	60
Tab. 4.22: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	60
Tab. 4.23: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	60
Tab. 4.24: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Mineralstoffen in Eichenmisteln sowie Bodenparametern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni	62
Tab. 4.25: Verlagerung (%) von Mineralstoffen in Eichenmisteln, vergleichen mit Eichenblättern (=100%) von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni und Signifikanz der Unterschiede	63
Tab. 4.26: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen der Mineralstoff-Anreicherung in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern (=100%) und Bodenparametern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni	64
Tab. 4.27: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen der Verlagerung von Mineralstoffen in Eichenmisteln und den Mineralstoff-Gehalten in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni.	64
Tab. 4.28: Deskriptive Statistik für Bodenparameter kultivierter Eichenmistel-Standorte	67
Tab. 4.29: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Bodenparametern kultivierter bzw. natürlicher Eichenmistel-Standorte	68

Tab. 4.30: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede in den Bodenparametern zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden	69
Tab. 4.31: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen den Bodenparametern kultivierter Eichenmistel-Standorte	69
Tab. 4.32: Deskriptive Statistik für die Gehalte an Mineralstoffen in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten	71
Tab. 4.33: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten	71
Tab. 4.34: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen den Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten	71
Tab. 4.35: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenblättern von kultivierten und natürlichen Eichenmistel-Standorten mit basischen und sauren Böden	72
Tab. 4.36: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von kultivierten bzw. natürlichen Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden	72
Tab. 4.37: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Korrelationen zwischen den Mineralstoff-Gehalten in Eichenblättern und Bodenparametern von kultivierten Eichenmistel-Standorten	73
Tab. 4.38: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten	75
Tab. 4.39: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten	75
Tab. 4.40: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten	75
Tab. 4.41: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten	76
Tab. 4.42: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten	76
Tab. 4.43: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von kultivierten bzw. natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden	77
Tab. 4.44: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von kultivierten und natürlichen Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden	77
Tab. 4.45: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Mineralstoff-Gehalten in Eichenmisteln und Bodenparametern von kultivierten Eichenmistel-Standorten	78

Tab. 4.46: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für die Bodenparameter kultivierter Misteleichen vom "Kalk"-Standort <i>Höfli-I</i> und vom "Ton"-Standort <i>Disli-oben</i>	81
Tab. 4.47: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Mineralstoff-Gehalte in den Blättern kultivierter Misteleichen vom "Kalk"-Standort <i>Höfli-I</i> und vom "Ton"-Standort <i>Disli-oben</i>	81
Tab. 4.48: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Blattparameter kultivierter Misteleichen vom "Kalk"-Standort <i>Höfli-I</i> und vom "Ton"-Standort <i>Disli-oben</i>	82
Tab. 4.49: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Boden- und Blattparametern kultivierter Misteleichen vom "Kalk"-Standort und vom "Ton"-Standort	82
Tab. 4.50a: Mittlere Wachstumsparameter von Eichensämlingen (<i>Quercus robur</i>) auf den unbehandelten bzw. mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"- bzw. "Ton"-Böden in großen Wurzelkästen	84
Tab. 4.50b: Mittlere Wachstumsparameter von Eichensämlingen (<i>Quercus robur</i>) auf den unbehandelten bzw. mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"- bzw. "Ton"-Böden in großen Wurzelkästen	84
Tab. 4.51: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Entwicklungsparameter von Eichensämlingen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden	87
Tab. 4.52: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Biomasse von Eichensämlingen, gewachsen auf dem unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden	87
Tab. 4.53: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Wurzelparameter von Eichensämlingen auf den unbehandelten (u) bzw. sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden	88
Tab. 4.54: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Ca- und P-Gehalte (g kg^{-1}) in Eichensämlingen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden	90
Tab. 4.55: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Fe- und Mn-Gehalte (mg kg^{-1}) von Eichensämlingen auf unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden	90
Tab. 4.56: Mittlere Anzahl überlebender Mistelkeime auf Eichensämlingen im Gefäßversuch und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden	92
Tab. 4.57: Mistelempfängliche Eichen von kultivierten Eichenmistel-Standorten (Gesamtbilanz)	95
Tab. 4.58: Mistelempfängliche Eichen aus vegetativer und generativer Vermehrung auf kultivierten Eichenmistel-Standorten	96
Tab. 4.59: Vergleich kultivierter Standorte mit basischen und sauren Böden mit Bezug auf verschiedene Parameter der Mistelempfänglichkeit von Eichen	98
Tab. 4.60: Keimung und Wachstum direkt am Endstandort gesäter Eichen, bezogen auf alle Keimjahre und differenziert nach Erst- und Nachsaatplätzen	101
Tab. 4.61: Mistelempfänglichkeit direkt am Endstandort gesäter Eichen, bezogen auf alle Keimjahre und differenziert nach Erst- bzw. Nachsaatplätzen	101
Tab. 4.62: Deskriptive Statistik für die Gehalte (mg kg^{-1}) an potentiell toxischen Elementen in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Juni und Oktober	104

Tab. 4.63: Deskriptive Statistik für die Verlagerung potentiell toxischer Elemente in Eichenmisteln, verglichen mit Eichenblättern (=100%) von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Juni und Oktober	105
Tab. 4.64: Mittelwerte für die Verlagerung (%) potentiell toxischer Elemente in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern (=100%) und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten	105
Tab. 4.65: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) potentiell toxischer Elemente in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden	106
Tab. 4.66: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen dem Gehalt an potentiell toxischen Elementen in Eichenmisteln und Bodenparametern von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Juni	106
Tab. 4.67: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für den Gehalt (mg l^{-1}) an Mineralstoffen in wirtsspezifischen Mistelextrakten (Iscador®)	108
Tab. 4.68: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Mineralstoff-Gehalte (mg l^{-1}) in Extrakten aus Sommer- und Wintermisteln von den Wirtsbäumen <i>Abies</i> , <i>Malus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i>	111
Tab. 4.69: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für den Gehalt (mg l^{-1}) an Ca, Fe, Mn und Na in Pflanzen- bzw. Beeren-Extrakten aus Eichenmisteln	112
Tab. 4.70: Ca-, Mn- und Fe-Gehalte im Preßrückstand fermentierter 50%iger Pflanzenansätze aus Sommer- und Wintermistel von den Wirtsbäumen <i>Malus</i> , <i>Pinus</i> und <i>Quercus</i>	113
Tab. 4.71: Mn-Gehalte (mg kg^{-1}) in Blättern und Nadeln der Mistelwirte <i>Abies</i> , <i>Malus</i> , <i>Quercus</i> und <i>Ulmus</i> von natürlichen und kultivierten Standorten und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Standorten mit sauren und basischen Böden	114
Tab. 5.1: Zeitlich, räumlich bzw. genetisch bedingte Variationsursachen für signifikante Unterschiede im Gehalt an Mineralstoffen in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	117
Tab. 5.2: Zeitlich und räumlich bedingte Variationsursachen für signifikante Unterschiede im Gehalt an Mineralstoffen in Eichenblättern und Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten	118
Tab. 5.3: Zeitlich, räumlich und genetisch bedingte Variationsursachen für signifikante Unterschiede in den Bodenparametern (B) natürlicher Eichenmistel-Standorte	119
Tab. 5.4: Mn- und Fe-Gehalte (mg kg^{-1}) in Blättern und Nadeln verschiedener Baumarten	123
Tab. 5.5: Vergleich der Gehalte (g kg^{-1}) an Hauptelementen (N, P, K, Ca, Mg) sowie Na in Eichenmisteln mit Angaben aus der Literatur	124
Tab. 5.6: Vergleich der Anreicherung (%) von Hauptelementen (N, P, K, Ca und Mg) sowie Na in Eichenmisteln mit Angaben aus der Literatur	125
Tab. 5.7: Mn-Gehalte in Misteln (<i>Viscum album</i>) von verschiedenen Wirtsbäumen	127
Tab. 5.8: Fe-Gehalte (mg kg^{-1}) in Sproß und Wurzel verschiedener Pflanzen	132

Tab. 5.9: Fe-Gehalt in Eichenmisteln (<i>Viscum album</i> auf <i>Quercus robur/petraea</i>) und Misteln (<i>Viscum album</i>) von anderen Wirtsbäumen (aus der Literatur)	133
Tab. 5.10: Gehalt (mg kg^{-1}) an potentiell toxischen Elementen in verschiedenen Pflanzen	145
Tab. 5.11: Konzentration (mg kg^{-1}) von Mn und Cr im Kopfhaar von Brustkrebs-Patientinnen und gesunden Probandinnen (nach Kilic et al. 2004)	154

Abbildungen und Tabellen im Anhang

Text-A.1: Mistelverehrung bei den gallischen Druiden	176
Tab. A-1: Allgemeine Angaben zu natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich	177
Tab. A-2a: Verteilung unterschiedlicher Eichen auf pH _{KCl} -Klassen natürlicher Eichenmistel-Standorte	178
Tab. A-2b: Mittlere Bodenparameter in pH _{KCl} -Klassen natürlicher Eichenmistel-Standorte	178
Tab. A-3: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen in Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte	178
Tab. A-4: Ausreichende bzw. optimale Mineralstoff-Gehalte in Eichenblättern nach Literaturangaben	179
Tab. A-5: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (g kg ⁻¹) an Hauptelementen (N, P, K, Ca, Mg) in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden	179
Tab. A-6: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Eichenarten im Gehalt (g kg ⁻¹) an Hauptelementen in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	179
Tab. A-7: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Eichenarten im Gehalt (mg kg ⁻¹) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	179
Tab. A-8: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen im Gehalt (g kg ⁻¹) an Hauptelementen in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	180
Tab. A-9: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen im Gehalt (mg kg ⁻¹) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten	180
Tab. A-10: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (g kg ⁻¹) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden	180
Tab. A-11: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (mg kg ⁻¹) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden	180
Tab. A-12: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Eichenarten im Gehalt (mg kg ⁻¹) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten	181
Tab. A-13: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Bodenparametern und Mineralstoffen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten im April bzw. Oktober	181
Tab. A-14: Ca-abhängige Anreicherung (%) von Mineralstoffen in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern (=100%) von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni	181
Tab. A-15a: Allgemeine Angaben für kultivierte Eichenmistel-Standorte	182
Tab. A-15b: Bodenparameter kultivierter Eichenmistel-Standorte	182
Tab. A-16: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte (mg kg ⁻¹) in Eichenblättern von verschiedenen kultivierten Eichenmistel-Standorten	183

Tab. A-17: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt an Hauptelementen und essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten	183
Tab. A-18: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte (mg kg^{-1}) in Eichenmisteln von mehrfach beprobten kultivierten Eichenmistel-Standorten	184
Tab. A-18 (Forts.): Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte (mg kg^{-1}) in Eichenmisteln von mehrfach beprobten kultivierten Eichenmistel-Standorten	185
Tab. A-19: Bodenanalytische Parameter für Mistel- und Sammelkompost	185
Tab. A-20: Mittelwerte für Blattfarbe und Höhe von Eichensämlingen im Gefäßversuch und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden	186
Tab. A-21: Mittelwerte für Blattfarbe und Höhe von Eichensämlingen im Gefäßversuch und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden	186
Tab. A-22: Mittelwerte für Blattfarbe und Höhe von Eichensämlingen im Gefäßversuch mit verschieden behandelten "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Saatgutherkünften	186
Tab. A-23: Mittelwerte für die Anzahl überlebender Mistelkeime auf Eichensämlingen im Gefäßversuch mit verschieden behandelten "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den Behandlungen	187
Tab. A-24: Mittelwerte für die Anzahl überlebender Mistelkeime auf Eichensämlingen im Gefäßversuch mit verschieden behandelten "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Saatgutherkünften	187
Tab. A-25: Bodenparameter der Baumschul-Standorte Bromli und Zinnli	187
Tab. A-26: Direktsaat und Selektion mistelempfänglicher Eichen auf Saatplätzen mit Erstaussaat	187
Tab. A-27: Direktsaat und Selektion mistelempfänglicher Eichen von Saatplätzen mit Nachsaat	188
Tab. A-28: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an potentiell toxischen Elementen in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten	189
Tab. A-29: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Gehalt (mg kg^{-1}) an potentiell toxischen Elementen in Eichenblättern und Eichenmisteln	189
Tab. A-30: Mittelwerte für die Verlagerung (%) von potentiell toxischen Elementen in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern (=100%) und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten und zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden	189
Tab. A-31: Bodenparameter eines regelmäßig beernteten Kiefernmistel-Standortes	189

1 Einleitung

Krebs gehört zu den häufigsten Erkrankungen des Menschen – etwa ein Viertel der Todesfälle in Deutschland ging in den letzten Jahren auf bösartige Tumore zurück (DKFZ 2006). Trotz effizienter Behandlungsmethoden wie Tumorchirurgie, Strahlen- und Chemotherapie sowie neuerdings auch gentherapeutischer Ansätze sind die Möglichkeiten, eine Krebserkrankung nachhaltig zu heilen, noch immer begrenzt.

Neben den klassischen Krebstherapien haben sich im 20. Jahrhundert komplementärmedizinische Maßnahmen etabliert (Vickers 2002), unter denen die 1920 im Rahmen der anthroposophischen Medizin inaugurierte Misteltherapie eine führende Rolle spielt (Kienle und Kiene 2003). Im Vergleich zur Chemotherapie, die 1946 aufgrund von Zufallsentdeckungen in die Krebsbehandlung eingeführt wurde (Reitz 2005), beruht der Einsatz der Mistel auf gezielten Überlegungen von *Rudolf Steiner* (1861-1925), dem Begründer der Anthroposophie (Bellmann und Daems 1965). Ausgangspunkt für Steiner war die Idee der Metamorphose (Steiner 1987, Steiner 2003), die *Johann Wolfgang Goethe* (1749-1832) am Gestaltwandel der Pflanze und aufgrund seiner Auseinandersetzung mit der Botanik von *Carl von Linné* (1707-1771) ausgearbeitet hat (Lawson 1967, Troll undatiert). Steiner wurde 1882 mit der Herausgabe von Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften beauftragt und erweiterte in den folgenden Jahrzehnten die als Goetheanismus bezeichnete Denkweise Goethes zur Anthroposophie. Als Kulturimpuls hat sich die Anthroposophie Steiners inzwischen auf den unterschiedlichsten Lebensgebieten wie Pädagogik, Heilpädagogik, Landwirtschaft, Pharmazie und Medizin als fruchtbar erwiesen (von Plato 2003).

Steiner verstand die Anthroposophie als umfassendes Wissen vom Wesen des Menschen und vertrat als deren zentrales Element die Auffassung, daß zwischen Mensch und Natur in gesetzmäßiger Weise Entwicklungszusammenhänge bestehen. Im Hinblick auf die Krebserkrankung deutete Steiner den Tumor in seiner zeitlichen Dynamik und räumlichen Gestalt als dem menschlichen Organismus gegenüber ähnlich fremd wie die räumlich-zeitlichen Strukturen der Mistel im Vergleich zu gewöhnlichen Gestalt- und Entwicklungsmustern im Pflanzenreich als fremd erscheinen (Steiner 1999).

Steiner wies Ende 1916 auf den therapeutischen Zusammenhang zwischen Mistel und Krebs hin, worauf die Ärztin *Ita Wegman* Anfang 1917 in Zusammenarbeit mit einem Apotheker ein Mistelpräparat entwickelte und in Zürich in ihrer ärztlichen Praxis anzuwenden begann. 1920 stellte Steiner die von Wegman erfolgreich erprobte Misteltherapie im Rahmen einer anthroposophischen Ärztetagung dann offiziell vor (Daems 1987).

Bereits 1918 begann der Vertrieb von Mistelpräparaten, zunächst unter der Bezeichnung "Iscar", ab 1926 unter dem Produktnamen Iscador® (Daems 1987). Iscador® ist das älteste Mistelpräparat für die Krebstherapie (Overstolz 2005) und gehört zu den am häufigsten eingesetzten Maßnahmen in der Komplementär-Onkologie (Schwabe und Paffrath 2006).

Neben weiteren anthroposophischen Mistelpräparaten, deren Herstellung ebenfalls auf den von Steiner entwickelten Grundprinzipien basiert, wurden auch phytotherapeutische Mistelpräparate mit vereinfachten pharmazeutischen Verfahren entwickelt (Büssing 2000b; Bopp 2002; Kienle und Kiene 2003). Phytotherapeutika werden aus Pappelmisteln hergestellt, die unter Berücksichtigung der als besonders tumorwirksam eingestuften Inhaltsstoffklasse der Mistellektine im Januar geerntet werden (Büssing 2000b). Im Hinblick auf eine vom Wirtsbaum unabhängige Produktion von Mistellektin durch biotechnologische Verfahren sind inzwischen entsprechende Vorarbeiten mit Gewebekulturen initiiert (Kintzios 2000) und erste Untersuchungen zur antitumoralen Aktivität eines von nativem Mistellektin I abgeleiteten rekombinanten Proteins publiziert worden (Schöffski et al. 2004).

Im Vergleich mit phytotherapeutischen Mistelpräparaten ist für anthroposophische Mistelpräparate charakteristisch, daß a) die Mistel zweimal im Jahr – im Juni als Sommermistel und im November/Dezember als Wintermistel – geerntet wird (Leroi 1987, Büssing 2000b), b) die Extrakte aus Sommer- und Wintermisteln in einem speziellen maschinellen Verfahren gemischt werden (Unger 1987) und c) Misteln von verschiedenen Wirtsbäumen zu wirtsspezifischen Präparaten verarbeitet werden, deren unterschiedliche Inhaltsstoffe den therapeutischen Prozeß je nach Tumorlokalisation sowie Geschlecht, Alter und Konstitution der Patienten zu optimieren helfen (Kienle und Kiene 2003).

Für die Herstellung von Mistelpräparaten zur Krebsbehandlung wird nur die in Europa heimische Weißbeerige Mistel (*Viscum album* L.) verwendet (Abb. 1.1), die unter den global etwa 1500 Mistelarten (Kuijt 1968) das größte Wirtsspektrum aufweist (Barney et al. 1998).



Abb.1.1: Weißbeerige Mistel (*Viscum album* L. auf *Betula pendula* Roth.)

Viscum album wird in drei Unterarten differenziert, deren Vorkommen auf bestimmte Wirtsbaumgruppen beschränkt ist (Abb. 1.2):

- die Laubholzmistel *V. a. ssp. album* findet sich auf Apfelbäumen, Pappeln, Ulmen, Eichen, Birken, Linden, Flieder, Rose und zahlreichen anderen Laubhölzern;
- die Tannenmistel *V. a. ssp. abietis* (Wiesb.) Abrom. wächst auf Tannen (*Abies spec.*);
- die Kiefernmistel *V. a. ssp. austriacum* (Wiesb.) Vollm. gedeiht auf Kiefern (*Pinus spec.*).



Abb. 1.2: Unterarten der Weißbeerigen Mistel (*Viscum album*)

Erläuterung: Laubholzmistel (*V. a. ssp. album*) auf Linde (*Tilia*) (links); Tannenmistel (*V. a. ssp. abietis*) auf Tanne (*Abies*) (mittig); Kiefernmistel (*V. a. ssp. austriacum*) auf Kiefer (*Pinus*) (rechts).

Unterschiede zwischen Laub- und Nadelholzmisteln, auf die bereits Steiner hinwies (Walter 1953), wurden morphologisch (Grazi und Urech 1981) und pharmakologisch (Nagl und Stein 1989, Schaller et al. 1998) nachgewiesen. Hinweise auf spezifische therapeutische Qualitäten der verschiedenen Laubholzmisteln haben sich in der therapeutischen Praxis bewährt (Walter 1953) und durch entsprechende Grundlagenforschung auch pharmakologisch untermauern lassen (Büssing und Schietzel 1999, Pfüller 2000).

Gut untersucht ist die wirtsspezifische Pharmakologie der beiden misteltypischen Giftsubstanzen Mistellektin und Viscotoxin (Luther und Becker 1987, Jung et al. 1990, Büssing 2000, Kiene und Kienle 2003). Ansatzweise liegen auch Untersuchungen zur Pharmakologie anderer organischer Mistelinhaltsstoffe vor (Urech et al. 2005a, 2005b). Pharmakologische Arbeiten mit anorganischen Mistelinhaltsstoffen und Aussagen zu deren Relevanz für die Krebstherapie fehlen dagegen bis jetzt (Kiene und Kienle 2003).

Bereits in der Pionierphase der Misteltherapie empfahl Steiner, auch die Eichenmistel (*Viscum album* auf *Quercus robur* und *petraea*) zu verwenden. Da die entsprechende Pflanze

als Rohstoff nicht verfügbar war, wurde auf Steiners Anregung hin zunächst die Hainbuchenmistel (*Viscum album* auf *Carpinus betulus* L.) eingesetzt (Walter 1953), bevor ab 1927 auch ein Krebspräparat aus der Eichenmistel zur Verfügung stand (Urech 2002).

Der auf Eichen wachsenden Mistel wurde schon im Altertum besondere Heilkraft zugeschrieben. Der römische Naturhistoriker Plinius d. Ä. (23-79 n. Chr.) überliefert, wie keltische Druiden in Gallien Jahren die Eichenmistel als "omnia sanans" ("alles Heilende") verehrt haben (Text-A.1 im Anhang), betont allerdings auch, schon damals sei die Mistel nur selten auf Eichen zu finden gewesen (Bayer et al. 1994). Zahlreiche Eichentraktate belegen die medizinische Bedeutung der Eichenmistel im Mittelalter (Telle 1968, Högemann und Keil 1982). Neuere Übersichten beleuchten die kulturelle und medizinische Bedeutung in der Gegenwart (Becker und Schmoll 1986, Luther und Becker 1987, Briggs 2003).

Paul (1979) und Genaust (1996) vermuten aufgrund der Seltenheit von Eichenmisteln, Plinius habe sich nicht auf die Weißbeerige Mistel (*Viscum album* L.), sondern auf die gelbbeerige Riemenblume (*Loranthus europaeus* Jaqu.) bezogen. Abgesehen davon, daß zwischen diesen Mistelarten morphologisch und physiologisch deutliche Unterschiede bestehen (Tubuef 1923, Schiller 1928, Horak 1974), sind Stiel- und Traubeneiche (*Q. robur* und *petraea*) zwar tatsächlich Hauptwirte für *Loranthus* und in Österreich, der Slowakei sowie anderen südosteuropäischen Ländern derart häufig von der Riemenblume befallen, daß dort viele Eichenwälder als extrem geschädigt gelten (Buchleitner und Krapfenbauer 1986, Elias 1987a, Elias 1987b, Sterba et al. 1993, Janssen und Wulf 1999). Doch in Frankreich, dem ehemaligen Gallien, kommt die Riemenblume nicht vor, und sie fehlt in West- und Nordeuropa vollständig (Tubuef 1923, Wangerin 1938).

Von Tubeuf (1923) Anfang des 20. Jahrhunderts angeregte Erhebungen zeigten dagegen, daß damals in Europa einige Dutzend Eichen als Wirt für die Weißbeerige Mistel (*Viscum album* L.) bekannt waren (Abb. 1.3). Als sicher dokumentiert galten in England 21, in Frankreich 4, in Deutschland 2 sowie in der Schweiz und in Österreich-Ungarn jeweils 3 misteltragende Eichen.



Abb. 1.3: Misteltragende Eiche (*Quercus robur*)

Mitarbeiter des Schweizer Mistelforschungsinstituts Hiscia haben seit 1950 systematisch in Frankreich Erhebungen durchgeführt und inzwischen etwa 400 natürliche Eichenmistel-Standorte mit *Viscum album* auf *Quercus robur* und *petraea* registriert (Grazi 1987, Ramm et al. 2000, Urech, pers. Mittlg.). Eine aktualisierte Übersicht aus Großbritannien beschreibt sieben einheimische Misteleichen (Box 2000), und auch in der Schweiz wurde kürzlich ein natürlicher Eichenmistel-Standort entdeckt (Perrot 2003).

Aufgrund der Seltenheit natürlicher Eichenmisteln und der teilweise aufwendigen Ernte (Abb. 1.4) wurde im Mistelforschungsinstitut Hiscia bereits ab 1952 versucht, die Mistel auf Eichen zu kultivieren. Tubeuf (1923) hatte dies für unmöglich erachtet, und auch die Pioniere der Eichenmistelkultivierung mußten bald feststellen, daß *Viscum album* auf *Q. robur* und *petraea* nur schwer anzusiedeln ist. Mistelempfängliche Eichen ließen sich selbst durch breit gestreute Mistelaussaaten kaum aufspüren. Nach 11 Jahren waren von 15.000 auf Eichen ausgebrachten Mistelkernen nur noch 59 Keimlinge am Leben; lediglich auf einer Eiche hatte sich ein Mistelbusch entwickelt (Anon 1963, Grazi 1987).

Mitte der 70er Jahre entdeckte Grazi, daß die als Mistelempfänglichkeit bezeichnete Disposition misteltragender Eichen sowohl vegetativ als auch generativ auf Nachkommen übertragbar ist (Grazi und Urech 1983 Grazi 1987). Edelreiser von natürlich gewachsenen Misteleichen aus Frankreich, die auf einheimische Eichen-Unterlagen gepfropft und mit Mistelkernen besät wurden, trugen bereits zwei Jahre später junge Misteln. Auch aus Samen französischer Misteleichen konnten mistelempfängliche Bäume selektiert werden (Grazi 1987, Ramm et al. 2000). Seither bilden Nachkommen der natürlichen Misteleichen die Grundlage für die Eichenmistel-Kultivierung, mit der Ende der 1970er Jahre am Nordrand des Schweizer Jura auf verschiedenen Standorten begonnen wurde (Grazi 1987).



Abb. 1.4: Eichenmistelernte auf einem natürlichen Standort in Frankreich (Photo: J. Buess)

Für eine großflächige Mistelkultivierung – zumal auf Eichen – lagen damals weder in der Literatur noch in der Praxis Erfahrungen vor. Nicht unerwartet traten deshalb bald Probleme bei der Anzucht von Eichen wie auch deren Besiedlung mit Misteln auf. Fraßschäden durch Mäuse und Rehe ließen sich durch Drahtnetze an Wurzel und Stamm der jungen Eichen vermeiden (Grazi 1987), und Verlusten von Mistelkernen durch Meisenfraß wurde durch saisonal verzögerte Ausbringung der Mistelkerne entgegengewirkt (Grazi und Urech 1996).

Als schwerwiegender erwiesen sich bodenbedingte Probleme, die Mitte der 1980er Jahre als Chlorosen sichtbar wurden und zu reduziertem Wachstum, Absterben sowie geringer Mistelempfänglichkeit bei betroffenen Eichen führten und mit schwachem Wuchs sowie vorzeitigem Absterben etablierter Misteln verknüpft waren (Ramm 1990). Visuell ließen die Symptome nach Bergmann (1988) auf Mangan- und Eisen-Mangel schließen, als Ursache wurde der im Gebiet des Schweizer Jura hohe Kalkgehalt im Boden vermutet, der über hohe pH-Werte die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen wie Mangan einschränkt (Schnug 1985).

Auf einem nahegelegenen, weniger kalkhaltigen Standort wiesen kultivierte Eichen dagegen nicht nur große, dunkelgrüne Blätter und eine hohe Vitalität auf, sondern entwickelten auf einer begrenzten Fläche auch eine überraschende Mistelempfänglichkeit (Ramm 1990). Daraus wurde die Hypothese abgeleitet, daß neben der genetischen Disposition auch die Bodenverhältnisse am Standort die Mistelempfänglichkeit von Eichen und die Produktion erntefähiger Eichenmisteln beeinflussen.

Die Berücksichtigung von Standortfragen in der Eichenmistel-Kultivierung entspricht Forderungen in den *Guidelines on Good Agricultural and Harvesting Practise* (WHO 2003, Schmidt et al. 2005), die von der Weltgesundheitsorganisation im Hinblick auf die globale Vermarktung von Medizinalpflanzen kürzlich aktualisiert wurden. Diese Richtlinien fordern dazu auf, durch standortgerechten Anbau und pflanzenartgemäße Ernteverfahren die Qualität der verwendeten Heilpflanzen nachhaltig zu sichern. Angesichts der langen Tradition der Misteltherapie und der führenden Rolle der Mistel in der Komplementär-Onkologie besteht allerdings ein erhebliches Forschungsdefizit, was Standorteinflüsse auf die Inhaltsstoffe und die pharmazeutisch-therapeutische Qualität der Mistel betrifft.

Generell liegen zwar Untersuchungen zur Mineralstoff-Physiologie verschiedener Misteln vor, die auch den jeweiligen Wirt mit einbeziehen (Lamont und Southhall 1982, Glatzel 1983, Ehleringer und Schulze 1985, Novacek und Teterova 1987, Pate et al. 1991, Panvini und Eickmeier 1993, Goedings 1995, Popp und Richter 1998, Bannister et al. 2002). Doch der Boden als Einflußfaktor auf Wirt und Mistel wurde bisher nur in einer Arbeit (Muravyeva und

Popova 1992) berücksichtigt. Hinzu kommt, daß die Eichenmistel, weil sie in der Natur selten vorkommt, bezüglich Mineralstoff-Physiologie bislang überhaupt nicht untersucht wurde.

Diese Lücke füllt die vorliegende Arbeit durch Untersuchungen auf natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten. Dabei wurden nicht nur die Mineralstoff-Verhältnisse in Boden, Wirt und Mistel untersucht, sondern bodenabhängige und wirtsspezifische Einflüsse auf die Eichenmistel bis in pharmazeutische Mistel-Extrakte verfolgt. Ein Ziel der Arbeit war, aufgrund der Verhältnisse auf natürlichen Eichenmistel-Standorten sowie der praktischen Erfahrungen aus drei Jahrzehnten Eichenmistel-Kultivierung die optimalen Standortbedingungen für die Eichenmistel genauer zu bestimmen. Daraus abzuleitende Maßnahmen für einen Standort- und Wirtsbaum-gerechten Anbau helfen nicht nur quantitative Einbußen in der Eichenmistel-Kultivierung zu vermeiden, sondern auch die Qualität der Eichenmistel (Abb. 1.5) als seltener pharmazeutischer Rohstoff zu optimieren.



Abb. 1.5: Eichenmistel (*Viscum album* auf *Quercus robur*)

Basierend auf den oben genannten Vorarbeiten und Hypothesen wurden in der vorliegenden Arbeit folgende Aspekte untersucht:

- Welche Beziehung besteht zwischen den Mineralstoff-Gehalten in Boden, Eiche und Mistel auf natürlichen Eichenmistel-Standorten und wie unterscheiden sich davon die Mineralstoff-Verhältnisse auf kultivierten Eichenmistel-Standorten?
- Haben die Bodenverhältnisse Einfluß auf Wachstum und Mistelempfänglichkeit von Eichen sowie den quantitativen Erfolg der Eichenmistel-Kultivierung?
- Beeinflussen Standortmerkmale den Gehalt an wertgebenden und wertmindernden Mineralstoffen und die pharmazeutische Qualität von Eichenmistelpräparaten?

2 Zur Entwicklung der Weißbeerigen Mistel (*Viscum album* L.)

Bevor auf die Untersuchungen eingegangen wird, soll kurz die besondere Lebensweise der Weißbeerigen Mistel (*Viscum album* L.) beleuchtet werden, die bei der Bewertung von Bodeneinflüssen auf das Mistelwachstum zu berücksichtigen ist. Im Vergleich zu anderen Angiospermen, die den Boden mit Wurzeln erschließen, sind Misteln (*Viscaceen* und *Loranthaceen*) nur indirekt, über den Wirt, mit dem Boden verbunden; sie entwickeln stattdessen im Wirtsholz ein endophytisches System oder Haustorium (Sallé 1983, Bhandari und Mukerji 1993, Riopel und Timko 1995), das Kujt (1969) als Hauptkriterium nennt, um Pflanzen als Misteln zu klassifizieren. Von Interesse sind ferner zahlreiche Besonderheiten in der Sproß- und Fruchtentwicklung von *Viscum album*.

2.1 Mistelhaustorium und Wirtsresistenz

Viscum album ist bei der natürlichen Verbreitung auf Vögel angewiesen, weil sich die reifen Früchte nicht vom Mistelbusch lösen und die Embryonen die Fruchthaut (Exokarp) nicht durchwachsen können. Als Hauptverbreiter gilt die Misteldrossel (*Turdus viscivorus*), die sich von Oktober bis März von Mistelfrüchten ernährt, ihre Fruchtbestände verteidigt (Snow und Snow 1988, Stiebel 2003) und bei jeder Mahlzeit mehrere Mistelfrüchte verschluckt. Bei der Verdauung lösen sich die endospermhaltigen Kerne vom Fruchtfleisch (Mesocarp) und werden als schleimige Masse ausgeschieden (Abb. 2.1a), worauf sie mit geeigneten Wirtszweigen in Kontakt kommen können.



Abb. 2.1a: Misteldrossel (*Turdus viscivorus*)

Erläuterung: Unverdaute Mistelkerne werden als schleimige Masse ausgeschieden.

Regelmäßig trägt auch die Mönchsgrasmücke (*Sylvia atricapilla*) zur Mistelverbreitung bei, die sich als Zugvogel von März bis Mai von Mistelfrüchten ernährt und Mistelkerne einzeln auf dünnen Zweigen abstreift, bevor sie Fruchtfleisch und Fruchthaut verschluckt (Abb. 2.1b). Während die Misteldrossel den oberen Kronenbereich und solitär stehende Bäume als Habitat bevorzugt, lebt die Mönchsgrasmücke in der unteren und mittleren Krone von Bäumen sowie in Sträuchern (Stiebel 2003).



Abb. 2.1b: Mönchsgrasmücke (*Sylvia atricapilla*)

Erläuterung: Weibchen (links) und Männchen beim Verzehren von Mistelfrüchten.

Sporadisch als Mistelverbreiter treten auch die im Polarkreis heimischen Seidenschwänze (*Bombycilla garrulus*) auf, wenn alle etwa 10 bis 15 Jahre einige zehntausend dieser Vögel den Winter in Mitteleuropa verbringen und sich neben anderen Früchten auch von Mistelbeeren ernähren (Grazi 1986, Zimmermann und Mulhauser 2005).

Neben Polysacchariden, die durch Regen ausgespült werden, enthält das dem Endokarp anhaftende innere Mesokarp sogenanntes Viscin (Salle 1983, Urech et al. 2005b), das den Mistelkern an der Wirtsrinde fixiert (Abb. 2.2) Im Frühjahr streckt sich das Hypokotyl der Mistelkeimlinge, worauf die keulig verdickte Basis durch negativ phototropes, sekundär auch negativ gravitropes Wachstum gegen die Wirtsrinde gelenkt wird. Epidermiszellen sekretieren eine viskose Flüssigkeit und fixieren die Hypokotylbasis auf der Wirtsrinde (Löffler 1923, Thoday 1951 Sallé 1983). Aus der Epidermis der Hypokotylbasis wachsen Papillen hervor, die eine Art Haftscheibe bilden (Abb. 2.2) und den Keimling fest mit dem Wirt verbinden.



Abb. 2.2: Keimende Mistel (*Viscum album* auf *Quercus robur*)

Erläuterung: Mistelkern mit zwei Embryonen, deren Keimstengel im Kontakt mit der Rinde Haftscheiben bilden.

Indem sich die Haftscheibe weitet, werden die mit der Wirtsrinde verwachsenen Papillen in die Peripherie gezogen, wodurch das Wirtssperiderm lagenweise geöffnet wird (Thoday 1951). Aus einem länglichen Meristem in der bilateral-symmetrischen Haftscheibe wächst neues Gewebe in die geöffnete Wirtsrinde (Thoday 1951), wobei der Festigung dienende Sklerenchymfasern umwachsen werden (Abb. 2.3). Neben mechanischen Kräften fördern vermutlich auch vom Spitzenmeristem induzierte Enzymprozesse das Öffnen des Wirtsgewebes (Sallé 1983). Bei der Etablierung von *Loranthus europaeus* auf Eichen (*Q.*

robur/petraea) wurde gesteigerte Aktivität einer Superoxiddismutase beobachtet (Ebermann und Lickl 1985).



Abb. 2.3: Mistelhaustorium (*Viscum album*) in der Wirtsrinde (*Malus domestica*)

Auf jungen Apfelzweigen, die kaum Resistenz gegen die Mistel entwickeln, erreicht das zentripetal vordringende Spitzenmeristem bereits zwei bis drei Monate nach Fixierung der Haftscheibe das Wirtskambium (Abb. 2.4, links). Auf mistelempfänglichen Eichen trifft das Mistelhaustorium dagegen oft erst in der zweiten Vegetationsperiode auf das Kambium. Auf mäßig resistenten Eichen kann das Spitzenmeristem im Wirtspiderm sogar mehrere Jahre lang vital bleiben, ohne bis zum Wirtskambium vorzudringen. Gewöhnlich zeigen Eichen allerdings eine derart ausgeprägte Resistenz, daß die jungen Mistelkeimlinge bereits nach wenigen Wochen absterben, ohne in die Rinde des Wirtes einzudringen.

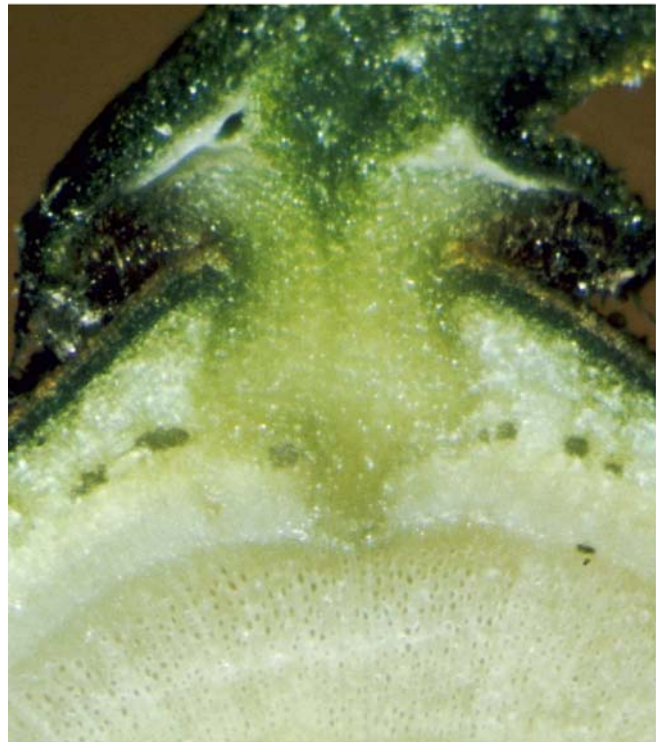


Abb. 2.4: Haustorialstamm der Mistel (*Viscum album* auf *Malus domestica*)

Erläuterungen: Haustorialstamm in Kontakt mit dem Wirtskambium (Wirtszweig im Querschnitt).

Genauer untersucht wurden die Grundlagen der Mistelresistenz von Frochot et al. (1978) und Hariri et al. (1991, 1992) an verschiedenen Pappelklonen und Eichen. Dabei zeigte sich jeweils eine Bindung der Resistenz an die genetische Konstitution der Bäume. Hariri et al. (1991) konnten zeigen, daß resistente Pappeln auf das Vordringen des haustorialen Mistelmeristems mit verstärktem Wachstum des inneren Periderms sowie vermehrter Flavonoidproduktion reagieren. Bei der Resistenzentwicklung von Eichen gegenüber der Mistel spielten die Dicke der Rinde, die Dichte polyphenol-haltiger Zellen, die Dicke der ersten Lage von Sklerenchymfasern und die Dicke des Kollenchyms eine Rolle. Ein diese Elemente berücksichtigender Resistenzkoeffizient stand mit dem Ausmaß des Mistelbefalls von misteltragenden Eichen in Zusammenhang (Hariri et al. 1992).

2.2 Nährstoffversorgung der Mistel durch das Wirtsxylem

Entscheidend für den indirekten, durch den Wirt vermittelten Zusammenhang zwischen Mistel und Boden ist die Verbindung zwischen Mistel- und Wirtsxylem, wodurch von den Wurzeln aus dem Boden aufgenommenes Wasser samt darin gelösten Substanzen in die Mistel gelangen können. Hierfür muß zunächst das Spitzenmeristem des Mistelhaustoriums in Kontakt mit dem Wirtskambium treten, worauf sich die Zellteilungsaktivitäten in Wirts- und Mistelgewebe zeitlich und räumlich synchronisieren. Während das Wirtskambium nach innen Zellen bildet, die zum Holzkörper ausdifferenzieren, gibt das interkalare Meristem der Mistel neue Zellen gegen das Innere des Zweiges ab, die vom jungen Wirtsholz umwallt werden und in ihrer Gesamtheit als Senker bezeichnet werden (Abb. 2.5). Mistelsenker durchwachsen das Wirtskambium nicht aktiv, sondern werden passiv in das junge Holz mit dem sekundären Wirtsxylem eingebettet. Das Spitzenmeristem im Haustorialstamm wandelt sich dabei in ein interkalares Meristem um (Thoday 1956, Sallé 1979, Sallé 1983).



Abb. 2.5: Mistelkeimling mit etabliertem Senker (*Viscum album* auf *Malus domestica*)

Erläuterungen: Keilförmiger Senker (Radialschnitt) von *Viscum album* im jungen Holz eines zweijährigen Zweiges (Querschnitt) von *Malus domestica*; Sproßknospe des Mistelkeimlings (linker Bildrand) in der Kernhülle (Endocarp) ruhend; Mistelaussaat: 7. April 1995; Aufnahme vom 10. Oktober 1995.

Der Senker regt das Wirtskambium zu hypertrophierendem Wachstum an. Da der Mistelkeimling noch kein Sproßwachstum zeigt, ist die resultierende, von außen sichtbare Schwellung des Zweiges ein wichtiges Signal, daß sich im Innern des Zweiges im jungen Wirtsholz der Mistelsenker etabliert (Abb. 2.5). Um dem vom Wirtskambium induzierten sekundären Dickenwachstum zu folgen, weitet sich das interkalare Mistelmeristem, und der Primärsenker nimmt die Gestalt eines längs zur Fließrichtung im Wirtsxylem gestreckten Keiles an (Thoday 1956). Dessen ältestes Gewebe ist die zuinnerst im Holz lagernde Spitze, die erst nach einigen Jahren abstirbt.

Sobald im Wirtsholz nach der Differenzierung die Festigung der Leitgefäße einsetzt, beginnen in der Senkerperipherie entsprechende Vorgänge, indem Parenchymzellen zu Leitbahnen umgebildet werden (Abb. 2.6). Dabei werden Zellorganellen aufgelöst und Zellen ausgehöhlt, quer zur Strömungsrichtung liegende Zellwände resorbiert und in Längsrichtung verlaufende Zellwände spiralig bis netzartig verstärkt. Auf diese Weise entstehen offene Verbindungen zwischen Wirts- und Mistelxylem (Melchior 1921, Becker und Jurzitza 1972, Sallé 1983, Becker 1986), durch die der Xyleminhalt des Wirtes in die Mistel strömen kann.



Abb. 2.6: Mistelsenker im jungen Holz (*Viscum album* auf *Malus domestica*)

Erläuterung: Aus wenig differenziertem Gewebe (obere Abbildung) bilden sich Xylemstrukturen zunächst im Wirtsholz (untere Abbildung, links) und dann auch im angrenzenden Parenchym des Mistelsenkers (untere Abbildung, rechts); Astralblau-/Safraninrot-Färbung als Zellulose-/Lignin-Färbung.

Calvin und Wilson (1995) stellten an *Phoradendron*, einer nordamerikanischen *Viscaceae*, fest, daß im Senker nur ein geringer Anteil der theoretisch möglichen Verbindungen mit dem anstoßenden Wirtsxylem realisiert wurde. Weil die Dichte der Xylemstrukturen im Mistelsenker jahreszeitliche Variationen aufwies, vermuteten sie, daß *Phoradendron* damit auf die unterschiedliche Dicke und Durchflußrate der Wirtsgefäße im Früh- und im Spätholz reagiert.

Das Xylem im Mistelsenker entwickelt sich von der Senkerperipherie (Abb. 2.6) gegen die Mittelachse und mündet dort in zentrale Gefäße, die parallel zur Strömung im Wirtsxylem verlaufen und unterhalb der Haftscheibe den Xyleminhalt in Haustorialstamm und Hypokotyl sowie den sich entwickelnden Mistelsproß leiten (Sallé 1979, de Mol und Heller 2004).

Das Senkerparenchym bleibt mehrere Jahre lang grün, obwohl es infolge des sekundären Dickenwachstums immer tiefer in das lichtundurchlässige Holz eingebettet wird. Fineran (1995) hat die grünen Pigmente im Senker von *Korthalsella* als Chlorophyll identifiziert und vermutet, daß die in Australien heimische Mistel mit Hilfe einer daran gebundenen Photosynthesekapazität lokal auch geringste Lichtpotentiale zu nutzen vermag (Abb. 2.7).



Abb. 2.7: Haustorialsystem von *Viscum album*

Erläuterungen: grünes Senkerparenchym im Holz (links) und Rindenstränge im jungen Bast (rechts) von *Malus domestica*

Bereits während der Ausdifferenzierung des Primärsenkers wachsen oberhalb des interkalaren Meristems aus dem Haustorialstamm sogenannte Rindenstränge hervor (Abb. 2.7), die das sekundäre Wirtspfloem bevorzugt in Längsrichtung, aber auch zirkulierend erschließen. Deren Wachstum geht permanent von einem Spitzenmeristem aus, das ähnlich wie bei der Pflanzenwurzel durch eine vorgelagerte Zone langgestreckter Zellen geschützt

wird. Die wachsenden Spitzen von Rindensträngen kommen wiederholt mit teilungsaktivem Wirtskambium in Berührung, was jeweils die Bildung sekundärer Senker induziert; deren weitere Entwicklung übernehmen interkalare Meristeme, die im Wirtskambium eingebettet zurückbleiben (Melchior 1921, Thoday 1951, Thoday 1956, Sallé 1983).

Rindenstränge weisen neben Xylem, das von den Sekundärsenkern aus dem Wirt aufgenommene Xylemsäfte in den Haustorialstamm weiterleitet, auch Phloem auf (Sallé 1979, Sallé 1983), wodurch organische Substanz aus dem Mistelsproß an die wachsende Rindenstrangspitze transportiert wird. Senker weisen demgegenüber kein Phloem auf. Während in den Senkern offene Verbindungen zwischen Wirts- und Mistelxylem existieren, haben Rindenstränge weder durch das Xylem noch durch das Phloem offene Verbindungen mit dem Wirt (Melchior 1921, Becker und Jurzitza 1972, Sallé 1983, Becker 1986).

Im Vergleich mit interkalaren Senkermeristemen, die sich physiologisch den Rhythmen des Wirtskambiums anpassen und im Winter zur Ruhe kommen, zeigen Spitzenmeristeme von Rindensträngen weder jahreszeitliche noch an den Zellzyklus des Wirtes angepaßte Wachstumsrhythmen. Abhängig von der Teilungsaktivität im Wirtskambium ist dagegen die Bildungsrate sekundärer Senker, die zwischen April und August maximal ist (Sallé 1978).

Durch primäre und sekundäre Senker wird die Mistel aus dem Wirtsxylem mit Wasser und darin gelösten Substanzen versorgt. Während man früher davon ausging, daß der Halbparasit nur Mineralstoffe und Wasser vom Wirt bezieht, organische Substanz hingegen als zur Photosynthese befähigter Organismus selbst aufbaut, zeigen neuere Untersuchungen, daß *Viscum album* auch in bezug auf die C-Versorgung heterotroph ist und neben niedermolekularen Kohlenhydraten aus dem Wirtsxylem vor allem Aminosäuren bezieht, die sie als C-Quelle nutzt und dabei den mitgelieferten Stickstoff zu tolerieren vermag (Marshall und Ehleringer 1990, Popp und Richter 1998, Li et al. 2003, Escher et al. 2004).

Einen Motor der Nährstoffversorgung durch offene Xylem-Xylem-Verbindungen mit dem Wirt bildet die in Misteln vergleichsweise hohe Transpirationsrate (Fischer 1983; Marshall et al. 1994). Misteln weisen niedrigere Grenzwerte für das Blattwasserpotential auf, schließen die Stomata also später als die betreffenden Wirtsblätter (Bernhofer und Gay 1989). Dadurch haben sie nicht nur Vorteile im Wettbewerb um Wasser, sondern können durch länger geöffnete Stomata auch mehr CO₂ aufnehmen und so eine verminderte Effizienz in der CO₂-Fixierung teilweise kompensieren (Hollinger 1983).

Erste Mineralstoffanalysen an Misteln stammen aus dem Jahr 1844 (Gill und Hawksworth 1961). Moewes (1918) und Tubeuf (1923) referieren aus älteren Arbeiten, daß Misteln oft weniger Ca in der Asche enthielten als der Wirt, während die P- und K-Gehalte

erhöht waren. Gills und Hawksworth (1961) aktualisieren in einer Literaturübersicht, daß insbesondere K und P, weniger ausgeprägt auch Mg, in Misteln höher konzentriert waren als im Wirt; der Ca-Gehalt war dagegen oft deutlich niedriger, woraus sie schlossen, daß Misteln durchaus zu selektiver Mineralstoffaufnahme fähig sein könnten.

Ob die Nährstoffaufnahme von Misteln in erster Linie passiv geschieht oder ob auch aktive Vorgänge eine Rolle spielen, wird seit einigen Jahrzehnten kontrovers diskutiert (Glatzel und Devkota 2004). Einigkeit besteht darüber, daß Misteln den Hauptanteil der Nährstoffe durch passive Aufnahme aus dem Wirt beziehen und diesen Influx durch offene Verbindungen zwischen Wirts- und Mistelxylem kaum regulieren können, da eine dem Casparyschen Streifen der Endodermis vergleichbare Struktur der Mistel fehlt (Glatzel und Balasubramaniam 1987). Aufgrund morphologischer Studien postulieren einige Autoren (Fineran 1995, Fineran 1996, Fineran und Calvin 2000), Misteln könnten auch aktiv und selektiv Nährstoffe aus dem Wirt aufnehmen. Eine wichtige Rolle komme dabei den undifferenzierten, grünen Parenchymzellen zu, die in der Senkerperipherie ohne offene Verbindung an das Wirtsxylem grenzen und durch ihren Chlorophyllgehalt lokal zu autonomer Energiegewinnung fähig sein könnten, wodurch das osmotische Potential gesteigert und eine aktive Nährstoffaufnahme gesteuert werden könnte (Fineran 1995).

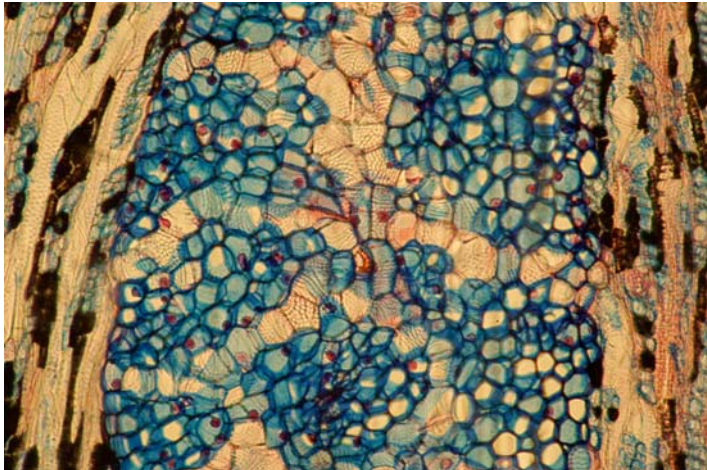


Abb. 2.8: Xylemverbindung zwischen Mistelsenker und Wirtsholz (*Viscum album* auf *Malus domestica*)

Andere Autoren sind der Frage nach passiver oder aktiver Nährstoffaufnahme der Mistel in Arbeiten zur Mineralstoff- und Wasserphysiologie von Mistel und Wirt nachgegangen. Während Pate et al. (1991), Panvini und Eickmeier (1993) sowie Bowie und Ward (2004) die Möglichkeit einer aktiven, wenngleich wenig effektiven Mineralstoffaufnahme an der Grenz- und Übergangsschicht zwischen undifferenziertem Senkerparenchym und angrenzendem Wirtsparenchym nicht ausschlossen, sahen Bannister et al. (2002) sowie Glatzel und Devkota (2004) in ihren Resultaten keine Indizien für ein aktives Aufnahmesystem im Mistelsenker.

Sallé (1981) maß der Frage, ob die Mistel nur passiv durch den Wirt versorgt wird oder sich auch aktiv bestimmte Nährstoffe aus dessen Xylem aneignen kann, vor allem für die Interpretation von Wirtseinflüssen Bedeutung zu. Darüber hinaus ist diese Frage auch für die Beurteilung von Bodeneinflüssen auf die Mineralstoff-Physiologie von Relevanz.

2.3 Zeit- und Raumstrukturen der Sproßentwicklung

Auf die mindestens ein Jahr dauernde Etablierung des Senkers folgt eine vergleichsweise langsame Entwicklung der Sproßorgane von *Viscum album* (Weber 1993). Aufgrund von Hemmungen und Verzögerungen der vegetativen und generativen Organentwicklung dauert die Entwicklung vom Mistelkeimling bis zum erntefähigen Mistelbusch acht bis zehn Jahre, wobei suboptimale Standortbedingungen diese Zeitspanne weiter verzögern können. Glatzel und Balasubramaniam (1987) haben festgestellt, daß Misteln selten Nährstoffmangel zeigen, und postuliert, daß sie auf drohende Mangelsituationen mit reduzierter Biomassebildung reagieren, um die physiologisch erforderlichen Mineralstoffkonzentrationen zu erhalten. Da sich daraus resultierende Wachstumsverzögerungen nachteilig auf die Mistelproduktion auswirken, sei auch die normale Sproß- und Fruchtentwicklung der weißbeerigen Mistel kurz skizziert; detaillierte Darstellungen finden sich bei Ramm et al. (2000), und Schemata zum Lebenszyklus von *Viscum album* bei Zeller (1976), Nierhaus-Wunderwald und Lawrenz (1997), Sallé et al. (1998) sowie Zuber (2004).

Wenn Mistelkeimlinge nach der Etablierung des Senkers Anschluß an das Wasserleitsystem des Wirtes gefunden haben, kann sich das Hypokotyl aufrichten (Abb. 2.9). Kreuzgegenständig (decussiert) zu den ausgezehrten Rudimenten der Keimblättern treiben im folgenden Frühjahr zwei kleine, lang gestreckte Primärblätter aus, die endständig einem kurzen Internodium aufsitzen (Abb. 2.9).

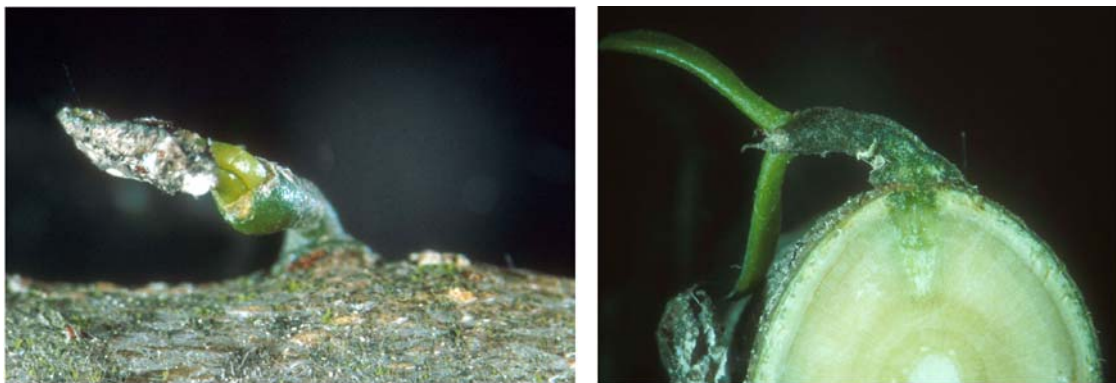


Abb. 2.9: Wachsende Mistelkeimlinge (*Viscum album* auf *Malus domestica*)

Erläuterung: Mistelkeimling stößt im April der zweiten Vegetationsperiode die vertrocknete Kernhülle ab (links), worauf sich die im Winter präformierten Primärblätter entfalten (rechts).

Während Stengel- und Blattgewebe eine festere Textur erhalten, ruht die Sproßknospe im Verlauf der Vegetationsperiode. Neue Sproßelemente treiben erst im folgenden Frühjahr hervor, erneut als Stengel mit einem einzigen endständigen Blattpaar, das kreuzgegenständig

(decussiert) zu den Vorjahresblättern inseriert. Anschließend ruht die zentrale Sproßknospe wie auch die lateralen Achselknospen wiederum bis zum nächsten Frühjahr. Für die weißbeerige Mistel ist charakteristisch, daß jede vegetative Knospe nur ein Internodium und ein gegenständiges Blattpaar hervorbringt, das am endständigen Knoten ansetzt (Abb. 2.10); dadurch stilisiert *Viscum album* die Kreuzgegenständigkeit (Decussation) als typisches Merkmal der *Viscaceen* und *Loranthaceen* (Kuijt 1969).



Abb. 2.10: Dreijährige Mistel (*Viscum album*)

Verglichen mit *Viscum album* entfalten andere Misteln mehr vegetative Sproßelemente: So bildet *Viscum cruciatum* aus jeder vegetativen Knospe zwei bis drei Internodien, Knoten und Blattpaare, und die auf Eichen parasitierende Riemenblume (*Loranthus europaeus*) entwickelt nebst vier paarigen Knospenschuppen vier decussierte Blattpaare sowie bis zu vier gegenständige Blütenpaare und eine endständige Einzelblüte (Abb. 2.11).



Abb. 2.11: Jahrestriebe von *Viscum album* und *Loranthus europaeus*

Erläuterung: *Viscum album* (links) mit Blütenknospen, *Loranthus europaeus* (rechts) mit offenen Blüten.

Den Blättern von *Viscum album* fehlt die für Laubblätter charakteristische bipolare Differenzierung in Palisaden- und Schwammparenchym. Vielmehr überwintert das Parenchym des Mistelblattes mehr oder weniger undifferenziert und zeigt im folgenden Frühjahr erneutes Streckungs- und Dickenwachstum (Tubeuf 1923). Bei Untersuchungen zum Chlorophyll in *Viscum album* fanden Popova und Muravyeva (1990) unabhängig von Wirtsbaum und Jahreszeit ähnliche Gehalte in den Mistelblättern.

Die Mistel wirft ihre Blätter im Hochsommer der zweiten Vegetationsperiode ab, und zwar grün und turgeszent. Ulmen- und Tannenmistelbüsche zeigen oft auch drei- und sogar vierjährige Mistelblätter in entsprechend zunehmenden Größenverhältnissen (Goedings 1995). Weil beim Blattfall von *Viscum album* keine N-Recyclierung stattfindet, sahen Schrader-Fischer und Apel (1993) darin auch einen Vorgang der Stickstoff-Entsorgung.

Blattalterung tritt nur insofern ein, als Ende Juni der Chlorophyllgehalt abnimmt und vor dem Blattfall schwefelreiches Viscotoxin, eine pharmazeutisch relevante Leitsubstanz (Franz 1985), degradiert und der Schwefel in die junge Blattgeneration verlagert wird (Schrader-Fischer und Apel 1993). Escher et al. (2003) vermuten, daß die Mistel – ähnlich wie perennierende Koniferen im Winter – rezyklierte Schwefelverbindungen als Schutz gegen oxidativen Streß benötigt. Rennenberg et al. (1994) fanden in *Viscum album* im Vergleich zu anderen Pflanzen erstaunlich hohe Thiol-Gehalte.

Die junge Mistel verzweigt sich ab dem dritten Sproßwachstumsjahr, indem neben der Apikalknospe auch Blattachselknospen beblätterte Stengel hervorbringen. Jeder dieser neuen Mistelzweige wird während der Differenzierung aus dem Blattachselmeristem von paarigen Knospenschuppen schützend umhüllt, die abfallen, wenn der Zweig im Frühjahr austreibt. Aus den Achselmeristemen dieser Knospenschuppen treiben ab einem bestimmten Alter und je nach Vitalität des Mistelbusches weitere Zweige aus, so daß sich am Apex eines Mistelzweiges im Frühjahr bis zu sechs neue Mistelzweige entfalten: zwei aus den Achseln der gegenständigen Vorjahresblätter hervorgehende, dominante Gabelsprosse, die lateral von je zwei Ergänzungstrieben begleitet werden, die aus den Achseln der paarigen Knospenschuppen hervorgehen (Abb. 2.12).

Ab etwa dem fünften Wachstumsjahr stehen für die vegetative Entfaltung nur noch die lateralen Meristeme am Sproßapex zur Verfügung, während die zentralen Sproßapexmeristeme zu stark gestauchten, blattlosen Kurztrieben mit Blütenknospen umgewandelt werden. Aus dieser Art der generativen Entwicklung resultiert eine für *Viscum album* charakteristische Scheindichotomie (Tubeuf 1923).



Abb. 2.12: Sproßentwicklung von *Viscum album*

Erläuterungen: Aus den Achseln der Vorjahresblätter treiben im April zwei dominante Gabelsprosse hervor, ergänzt von je zwei kleineren lateralen Zweigen (links); im folgenden Jahr wiederholt sich der Vorgang, so daß sich theoretisch 36 ($6 * 6$) neue Triebe entfalten können (rechts).

Mistelzweige sind insbesondere auf älteren Mistelbüschen vielfältigen Modifikationen unterworfen. Bei betont vegetativem Wachstum entwickeln die Achselmeristeme Stengel mit voll entfalteten Blättern, bei betont generativem Wachstum dagegen blattlose Kurztriebe mit üblicherweise dreizähligen Blütenständen; dazwischen treten Übergangsformen mit gestauchten Internodien, nur einem Blatt oder zweizähligen Blütenständen auf (Abb. 2.13).



Abb. 2.13: Variabilität zweijähriger Zweige von *Viscum album* im Winterzustand

Erläuterungen: Zweijährige Mistelzweige vom selben Mistelbusch können die Bildung vegetativer Organe (Stengel, Blätter) unterdrücken, so daß sich nur ein oder zwei Gabelsprosse entwickeln (links), oder verstärkt vegetativ wachsen und neben den beiden Gabelsprossen jeweils zwei Ergänzungsprosse entfalten (rechts).

Der Übergang von der vegetativen zur generativen Entwicklung erfolgt im Juni, wenn in den Blattachseln der sich entfaltenden Jahrestriebe die Primordien der nächstjährigen Mistelzweiggeneration ausdifferenziert werden (Dorka 1996; Ramm et al. 2000). Unmittelbar nachdem im Schutz der paarigen Knospenschuppen die Primordien der paarigen Mistelblätter veranlagt sind, wird im zentralen Meristem die Bildung der sphärischen Blütenstandsknospe induziert (Abb. 2.14).

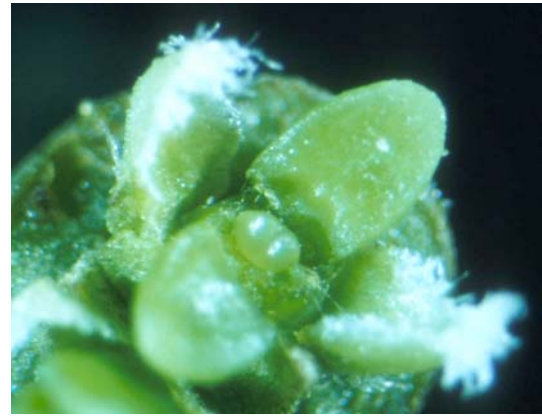


Abb. 2.14: Achselknospen von *Viscum album*

Erläuterung: Mitte Juni ist das Zentralmeristem zwischen den aufgeklappten, paarigen Mistelblattanlagen noch undifferenziert (links), Mitte Juli dagegen zur sphärischen Blütenstandknospe umdifferenziert (rechts).

An der Basis der Blütenstandsknospe ruht ein Meristem während neun Monaten, bevor daraus im folgenden Frühjahr, während der Entfaltung der Mistelzweige, die einzelnen Blüten samt Pollen und Embryoanlagen ausdifferenziert werden (Zeller 1976).

Parallel zum Eingreifen des Blühimpulses zeigen die sich entfaltenden Jahrestriebe zwischen Mitte Mai und Ende Juni charakteristische Nutationsbewegungen (Abb. 2.15), die gleichermaßen endogen wie exogen gesteuert scheinen (Dorka 1996, Dorka et al. 2004). Die Bewegungen treten in mehrstündigen Intervallen auf, sind zeitlich synchronisiert, räumlich dagegen weitgehend frei und lösen die Jahrestriebe schließlich aus der ursprünglich negativ geotropen Orientierung. Sobald die synchronen Nutationsbewegungen Ende Juni ausklingen, sind alle neu entfaltenen Mistelzweige derart auf den virtuellen Mittelpunkt des Mistelbusches ausgerichtet, daß die für *Viscum album* charakteristische Kugelgestalt entsteht.



Abb. 2.15: Nutationsbewegungen bei *Viscum album*

Erläuterungen: Junge Mistelzweige am Apex eines dreiblättrigen Mistelzweiges Anfang Mai beim Austreiben (links) und Mitte Juni während der Nutationsphase (rechts).

Die Reduktion des Chlorophyll-Gehaltes, die Degradation der Viscotoxine, die Umstimmung von der vegetativen zur generativen Entwicklung und die abfallenden Vorjahresblätter verändern *Viscum album* im Verlauf der Sommermonate physiologisch und morphologisch, weshalb bei der Beprobung von Mistelbüschen der jeweilige Termin wie auch die Art der beprobten Pflanzenorgane zu berücksichtigen ist.

2.4 Generative Entwicklung

Viscum album ist zweihäusig. Die genetischen Grundlagen der an eine unterschiedliche Verteilung geschlechtsspezifischer Chromosomen gebundenen Zweihäusigkeit hat Mechelke (1976) beschrieben. Büsche mit weiblichen Blüten sind drei- bis viermal häufiger als Büsche mit männlichen Blüten. Die Blüten entwickeln sich an Kurztrieben, die zwischen den Blättern aus der generativen Knospe hervorgehen (Abb. 2.16).



Abb. 2.16: Zweihäusigkeit von *Viscum album*

Erläuterung: Generative Kurztriebe mit weiblichen (links) und männlichen Blütenständen (rechts).

Je nach geographischer Lage und aktueller Witterung fällt die Hauptblütezeit von *Viscum album* in die Monate Februar bis April. Die Bestäubung erfolgt durch winteraktive Insekten (Plateau 1908, Hatton 1963-64, Kay 1986), beobachtet wurden vor allem Fliegen (*Muscidae*; Abb. 2.17), ferner Ameisen (*Formicidae*), Schwebfliegen (*Syrphidae*), Wespen (*Vespidae*), Bienen (*Apidae*) und Hummeln (*Bombicidae*) sowie andere Arten. Die Honigbiene (*Apis mellifica*) besucht hauptsächlich männliche Mistelblüten und trägt nur selten zur Mistelbestäubung bei (Walldén 1961). Angelockt werden die Insekten durch intensiven Duft, der Öffnungen am Boden der trichterförmigen männlichen Blüten entströmt, sowie durch Nektar, der rings um die Narbe von der weiblichen Blüte abgesondert wird. Diskutiert wird die Möglichkeit von Windbestäubung (Heinricher 1920, 1925, Tubeuf 1923, Zuber 2004).



Abb. 2.17: Mistelbestäubung durch Fliegen (*Muscidae*)

Erläuterung: Beim Besuch männlicher Blüten (links) bleibt Pollen am Insekt haften, der beim Besuch der weiblichen Blüte (rechts) auf die Narbe gelangt.

Aufgrund mehrfacher Bestäubung durch wiederholten Insektenbesuch können sich in Mistelfrüchten mehrere Embryonen entwickeln, da in den weiblichen Blüten sieben bis neun Embryosackmutterzellen angelegt werden, aus denen bis zu fünf Embryosäcke hervorgehen (Pisek 1923, Steindl 1935, Zeller 1976, Dorka 1996). Praktische Konsequenz dieser "Polyembryonie" ist, daß aus einem Mistelkern weibliche und männliche Mistelpflanzen heranwachsen und als ein Busch erscheinen können, die sich genetisch und physiologisch deutlich unterscheiden. Die Fruchtentwicklung setzt im April zunächst mit der Vermehrung des Nährgewebes (Endosperm) ein (Abb. 2.18). Ende Juni beginnt die Ausdifferenzierung der Embryonen, die Ende September bereits lebensfähig sind.



Abb. 2.18: Fruchtentwicklung der Mistel (*Viscum album*)

Erläuterungen: Im April zeigen sich neue Jahrestriebe in den Achseln der Vorjahresblätter, und die Fruchtentwicklung setzt ein (links); dreizähliger Fruchtstand im Juni (Radialschnitt), laterale Früchte mit angeschnittenen Endospermkernen (rechts).

Abhängig vor allem von der Witterung setzt Mitte Oktober die Fruchtreife ein, indem im Exo- und Mesokarp das Chlorophyll vollständig abgebaut wird und die Früchte weiß erscheinen (Abb. 2.19). Während das äußere Mesocarp (Fruchtfleisch) durch Polysaccharide für mistelverbreitende Vögel zur attraktiven Nahrung wird, löst sich das innere Mesokarp während der Passage durch den Vogeldarm nicht vom Endokarp und sorgt als Gemisch aus Schleimzuckern und Leimsubstanzen für das Anheften des Mistelkernes auf dem Wirtszweig. Grundlage für die Bildung des Mesokarps ist das Gewebe eines sogenannten flaschenförmigen Zentralkörpers, der zwischen zwei, aus dem Meristem am Boden des Blütenbechers hervorstehenden Fruchtblättern (Karpellen) entsteht und dessen Zellwände sich Ende Juni verschleimend auflösen (Zeller 1976). Das Exokarp geht morphologisch aus den Wänden des Blütenbechers und dem damit verwachsenden Karpellgewebe hervor. Weil an dieser Art der Fruchtbildung auch Achsengewebe beteiligt ist, wird die Mistelfrucht botanisch korrekt als Scheinbeere bezeichnet (Tubeuß 1923). Da die Embryonen aus

Embryosäcken hervorgehen, die ohne Integumente nackt im Zentralkörpergewebe lagern, weist die Mistel streng botanisch genommen auch keinen echten Samen auf (Steindl 1935); die Vermehrungseinheit wird deshalb als Mistelkern bezeichnet.

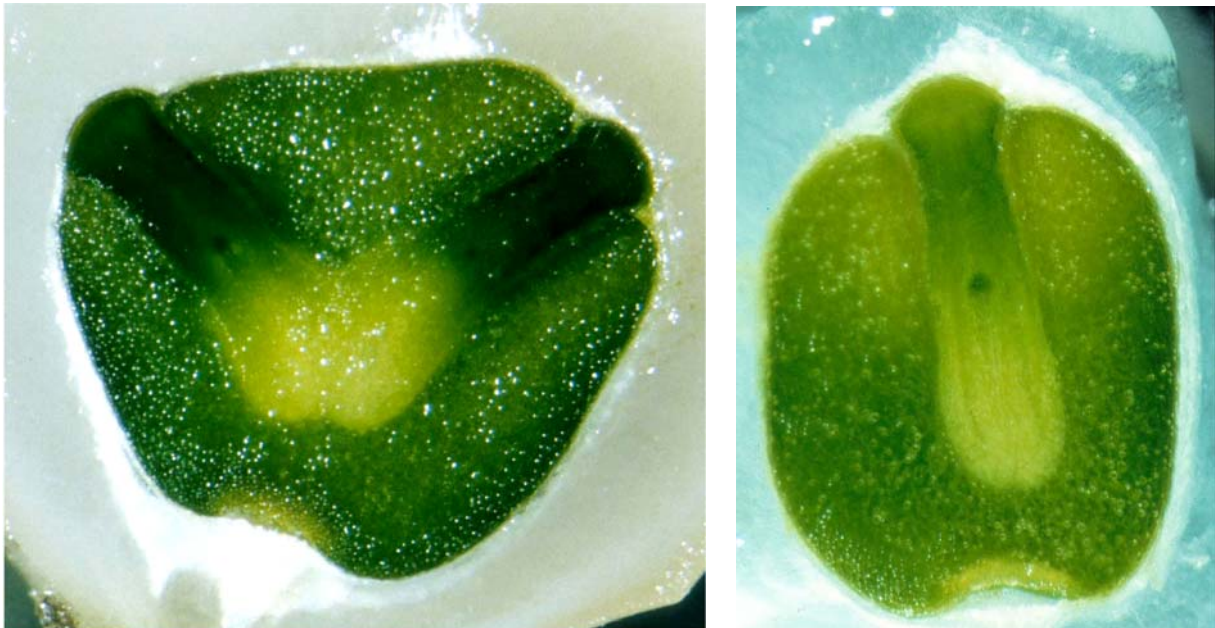


Abb. 2.19: Mistelfrucht mit Embryonen (*Viscum album*)

Erläuterungen: Mistelkern im Längsschnitt, in Endosperm eingebettet zwei Embryonen (links) bzw. ein Embryo (rechts).

Embryo und Endosperm der weißbeerigen Mistel sind auch im Winter grün. Der Chlorophyllgehalt läßt auf anhaltende photosynthetische Aktivität schließen. In der wintergrünen australischen Mistel *Amyema miquelii* war in der lichtarmen Jahreszeit die Aktivität im Photosystem II jedoch reduziert (Matsubara et al. 2002, Gilmore et al. 2003). Tubeuf (1923) hat ferner gezeigt, daß die Keimfähigkeit der Embryonen von *Viscum album* drastisch vermindert wurde, wenn Mistelkerne oder ganze Mistelbüsche während einiger Wochen verdunkelt wurden.

2.5 Morphologie und Standortfaktoren

Die Entwicklung erntefähiger Sproßorgane von *Viscum album* dauert ungewöhnlich lange und weist zahlreiche morphologische Besonderheiten auf. Deren Kenntnis trägt dazu bei, den mehrjährigen Kultivierungsvorgang von Eichenmisteln frühzeitig auf seine Erfolgsaussichten hin zu beurteilen. Zwar sind Einflüsse von Bodenparametern auf die Gestaltentwicklung der Mistel bisher praktisch nicht untersucht. Doch Glatzel und Balasubramaniam (1987) machen darauf aufmerksam, daß Misteln selten Mangel an bestimmten Mineralstoffen aufweisen, und vermuten, daß Misteln auf Mangelsituationen, die im Wirtsxylem entstehen, mit reduziertem Wachstum reagieren.

Mit ihrer stark ausgeprägten morphologischen Plastizität scheint *Viscum album* prädestiniert, allfälligen Mineralstoffmangel durch partielle Reduktion oder vollständiges Einstellen der vegetativen Sproßentfaltung zugunsten generativer Entwicklungsvorgänge zu kompensieren. Induziert der Wirt bereits in der Jugendentwicklung der Misteln anhaltenden Mangel an bestimmten Mineralstoffen, dürfte die Produktion erntefähiger Mistelorgane trotz scheinbar geglückter Besiedelung auf Eichen nachhaltig beeinträchtigt sein. Die Beurteilung der morphologischen Entwicklung von *Viscum album* ist deshalb eine wichtige Grundlage, um Mangelsituationen für die Mistel frühzeitig zu identifizieren, den Einfluß von Standortfaktoren zu beurteilen und den Erfolg gezielter Kulturmaßnahmen zur Behebung von Unterversorgung zu kontrollieren.

Ziel dieser Arbeit war es, vertiefte Kenntnisse über die Mineralstoff-Verhältnisse im Boden, in den Eichen und in den Misteln von Eichenmistel-Standorten sowie in pharmazeutischen Extrakten zu gewinnen, die im Zusammenhang mit dem Wissen über physiologische und morphologische Merkmale von *Viscum album* dazu beitragen können, die Eichenmistel-Kultivierung zu optimieren und die seltene Eichenmistel als wertvollen Rohstoff für die Komplementär-Onkologie nachhaltig zu sichern.

3 Material und Methoden

3.1 Nomenklatur und Systematik

Die Nomenklatur orientiert sich an den von Bartels (1993) für Gehölze verwendeten botanischen Bezeichnungen. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand die auf Stieleichen (*Quercus robur* L.) und Traubeneichen (*Quercus petraea* [Mattf.] Liebl.) wachsende Weißbeerige Mistel (*Viscum album* L.), die als Eichenmistel bezeichnet wird. Des Weiteren wurden die drei Unterarten von *Viscum album* auf folgenden Wirtsbäumen untersucht:

- die Laubholzmistel (*V. a. ssp. album*) auf:
 - Apfel *Malus domestica*
 - Ulme *Ulmus carpinifolia* Gled. und *U. glabra* Huds.
- die Kiefernmistel (*V. a. ssp. austriacum*) auf:
 - Kiefer *Pinus sylvestris*
- die Tannenmistel (*V. a. ssp. abietis*) auf:
 - Tanne *Abies alba*.

3.2 Gefäßversuche

In Gefäßversuchen wurde der Einfluß unterschiedlicher Böden und Behandlungen auf Wachstum und Mistelempfänglichkeit von Eichensämlingen untersucht. Der Ausdruck Mistelempfänglichkeit bezeichnet dabei eine genetische Disposition von Bäumen, aufgrund derer sich die Mistel mit dem Wirtsxylem verbinden und Sproßwachstum entwickeln kann (Grazi und Urech 1983; Grazi 1987).

Für die Beobachtung und das zerstörungsfreie Bonitieren der Wurzelentwicklung von Eichensämlingen wurden sogenannte Wurzelkästen eingesetzt:

- WUG: große Wurzelkästen mit Rahmen aus Kunststoff, Frontscheiben aus Glas und Rückwänden aus Eternit in den Maßen: Höhe = 108 bzw. 120 cm, Breite = 68 cm, Tiefe = 8 cm (Abb. 3.1a);



Abb. 3.1a: Großer Wurzelkasten (WUG)

- Wug: kleine Wurzelkästen mit Holzrahmen sowie Vorder- und Rückseiten aus Glas in den Maßen:
Höhe = 32 cm, Breite = 33 cm, Tiefe = 2 cm (Abb. 3.1b).



Abb. 3.1b: Kleiner Wurzelkasten (Wug)

Ferner wurde ein Versuch in gartenbauüblichen Gefäßen angesetzt:

- Gefäß: Tontöpfe mit einem Durchmesser von 26 bzw. 34 cm (Abb. 3.1c).



Abb. 3.1c: Eichen im Gefäß-Versuch

Die Substrate (luftgetrockneter Oberboden, 0-25 cm, auf 4 mm gesiebt) stammten von insgesamt drei kultivierten Eichenmistel-Standorten, die sich durch die Bodenreaktion, den Ca-Gehalt und die Mn- bzw. Fe-Verfügbarkeit sowie Wachstumsphänomene an Eichen und Misteln deutlich voneinander unterscheiden ließen (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Merkmale der in Gefäßversuchen eingesetzten Böden

Bezeichnung	Standort	Merkmal	pH _{H2O}	Ca-Gehalt	Mn-, Fe-Gehalt
"Kalk"-Boden	Höfli / CH	Chlorose an Eichen	7.8	sehr hoch	gering
"Ton"-Boden	Disli / CH	Mistelempfänglichkeit	6.7	mäßig	normal
"Sand"-Boden	Macon / F	neu in Kultur genommen	5.5	sehr gering	hoch

Unbehandelte Böden (= Kontrolle) wurden mit unterschiedlich behandelten Bodenvarianten (Tab. 3.2) verglichen: durch Sterilisieren sollte geklärt werden, inwieweit Bodeneffekte mit Mikroorganismen (Pilze, Bakterien) zusammenhängen; Eichenhumus wurde zugesetzt, um die Mykorrhizierung zu verstärken; Mulchen mit Holz- bzw. Rindenhäcksel diente der Beikrautregulierung. Mit Kompostgaben wurde versucht, das Bodenleben zu aktivieren und die Nährstoffversorgung zu optimieren.

Tab. 3.2: Behandlung der in Gefäßversuchen eingesetzten Böden

Variante	Abkürzung	Art der Bodenbehandlung
Kontrolle (unbehandelt)	u	luftgetrockneter Oberboden, Korngröße < 4mm,
Eichenhumus	h	Boden mit Eichenhumus (20%) vom "Kalk"-Standort durchmischt
Sterilisiert	s	Boden inkubiert bei 100% rel. Luftfeuchte, 80° C , 20 Minuten
Mulch	m	Boden abgedeckt mit 5 cm Holz- bzw. Rindenhäcksel
Sammelkompost	SK	obere Bodenschicht angereichert mit Sammelkompost °
Mistelkompost	MK	obere Bodenschicht angereichert mit Mistelkompost °°

Erläuterungen: ° Sammelkompost = aus einer Mischung leicht kompostierbarer organischer Bestandteile, °° Mistelkompost aus Rückständen der Mistelverarbeitung (verworfenen Mistelstengel und -blätter sowie Preßrückstand nach der Extraktion), ergänzt durch 30% einer Mischung aus Laub, Gartenboden und Holzschnitzeln; Bodenparameter in Tab. A-19.

Das Saatgut stammte von vier natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich (Q 1 / Q 456 / Q 460 / Q 537) sowie einer nicht misteltragenden Schweizer Eiche. Die Eicheln wurden im Oktober 1987 bzw. 1988 gesammelt und im Winter bei +4° C in feuchtem Sand gelagert. Für die Anzucht wurden gleich schwere Eicheln ausgewählt, deren Embryo die Samenschale bereits aufgebrochen hatte.

Im Gefäßversuch wurden einjährige Sämlinge von vergleichbarer Größe und Vitalität eingesetzt, die aus 1988 gesammeltem Saatgut angezogen wurden. Die drei Eichen pro Tontopf wurden im März 1994 in neuen Boden und größere Töpfe (34 cm Durchmesser) umgetopft; der stark verwachsene gemeinsame Wurzelballen wurde dabei leicht gestutzt. Im Februar 1997 wurden die Bäume vereinzelt und mit gestutzten Wurzelballen der Baumgröße entsprechend in 26- bzw. 34-cm-Töpfe gesetzt; alle Eichen erhielten als Boden eine Mischung aus 2/3 Mistel- und 1/3 Sammelkompost (Bodenparameter in Tab. A-19).

Alle Gefäße wurden halbschattig im Freien aufgestellt und bei Bedarf zusätzlich mit destilliertem Wasser bewässert. Mit Pyrethrum-Extrakt wurden saugende und beißende Insekten bekämpft, Mäuse wurden mit Klappfallen gefangen.

In den Gefäßversuchen "WUG" und "Gefäß" wurden ab dem Frühjahr 1991 am Stamm der jungen Eichen bzw. auf einjährigen Seitenzweigen Mistelkerne ausgebracht, die aus Früchten von Apfel- bzw. Pappelmisteln stammten und mit Hilfe des viscinhaltigen Mesokarps fixiert wurden. 1991 wurden je 10 Mistelkerne, in den Jahren 1992, 1993, 1994 und 1997 je 25 Mistelkerne pro Eiche ausgebracht.

Folgende Parameter wurden an wachsenden Eichen bzw. nach Versuchsende bestimmt:

- Wurzeltiefe (cm): Abstand der Pfahlwurzelspitze zur Bodenoberfläche
- Wurzeldurchmesser (mm): gemessen 10 cm unter Bodenoberfläche
- Sproßentfaltung (d): Tage ab Aussaat bis zur Entfaltung der ersten Blattgeneration
- Knospenaustriebe: Anzahl Austriebe terminaler Sproßknospen pro Vegetationsperiode
- Blattfarbe: in 6 Stufen bonitiert und dem Munsell-Code für Pflanzengewebe zugeordnet (Tab. 3.3)
- Frischgewicht (g FG) von Sproß, Wurzel und Seitenwurzeln
- Trockengewicht (g TS) von Blättern
- Wurzelspitzendichte ($n\ g^{-1}$ FG Seitenwurzel): Anzahl Spitzen pro g Seitenwurzel
- Mykorrhizierung (%): Anteil mykorrhizierter Wurzelspitzen an der Gesamtzahl der Wurzelspitzen, bestimmt am Binokular bei 15-facher Vergrößerung
- Mineralstoffe: P und Ca ($g\ kg^{-1}$) sowie Mn und Fe ($mg\ kg^{-1}$) in Sproß und Wurzel
- lebende Mistelkeime: Anzahl vitaler Mistelkeime
- mistelempfängliche Eichen: Anzahl Eichen mit wachsenden Misteln.

Tab. 3.3: Bonitierung der Blattfarbe von Eichenblättern gemäß Munsell-Code für Pflanzengewebe

Blattfärbung	Zahlenwert	Munsell-Code für Pflanzengewebe			
		Hue-Farbwert		Value	Chroma
dunkelgrün	5	5	G	4/	/4
grün	4	2.5	G	4/	/6
gelb-grün	3	2.5	GY	8/	/8
gelb	2	5	Y	8/	/8
braun-gelb	1	2.5	Y	7/	/8
braun	0	5	YR	4/	/6

In den Tabellen 3.4a, 3.4b und 3.4c sind die Böden und Behandlungen sowie Versuchs- und Zielparmeter der verschiedenen Gefäßversuche zusammengestellt.

Tab. 3.4a: Böden, Behandlungen, Versuchs- und Zielparameter in großen Wurzelkästen (WUG)

Gefäß	Boden (Tab. 3.1)	Behandlung (Tab. 3.2)	Maße (cm)	Eichen (n)	Versuchsdauer	Zielparameter
WUG	"Kalk"	u	108/68/8	4	25. Mai 1988 bis 15. Okt. 1989	<ul style="list-style-type: none"> ○ Wurzeltiefe (cm) ○ Wurzeldurchmesser (mm) ○ Sproßhöhe (cm) ○ Sproßzuwachs (cm) im 2. Jahr ○ Knospenaustriebe im 1. Jahr ○ Blattfarbe / Mehltau
		h	120/68/8	6		
	"Ton"	u	108/68/8	4		
		h	120/68/8	6		

Tab. 3.4b: Böden, Behandlungen sowie Versuchs- und Zielparameter in kleinen Wurzelkästen (Wug)

Gefäß	Boden (Tab. 3.1)	Behandlung (Tab. 3.2)	Maße (cm)	Eichen (n)	Versuchsdauer	Zielparameter
Wug	"Kalk"	u	32/33/2	5	24. Mai 1989 bis 7. Okt. 1989	<ul style="list-style-type: none"> ○ Wurzeltiefe (cm am Tag 19 ab Aussaat) ○ Sproßentfaltung (Tage) ○ Biomasse: Sproß-FG/ Blatt-TS)/ Wurzel-FG)/Seitenwurzel-FG ○ Wurzelspitzendichte ($n\ g^{-1}\ FG_{sw}$) ○ Mykorrhizierung (%) ○ Mineralstoffe (Ca, P, Fe, Mn) in Sproß und Wurzel
		s				
	"Ton"	u				
		s				
	"Sand"	u				
		s				

Tab. 3.4c: Böden, Behandlungen sowie Versuchs- und Zielparameter im Gefäßversuch mit Tontöpfen

Gefäß	Boden (Tab. 3.1)	Behandlung (Tab. 3.2)	Durchmesser (cm)	Eichen (n)	Versuchsdauer	Zielparameter
Gefäß	"Kalk"	u	26	3	4. Juni 1990 bis 10. Okt. 1998	<ul style="list-style-type: none"> ○ Blattfarbe ○ Höhe der Eichen (cm) ○ Lebende Mistelkeime (n) ○ Anzahl Misteleichen (n)
		m	26			
		SK	34			
		MK	34			
	"Ton"	u	26			
		m	26			
		SK	34			
		MK	34			
	"Sand"	u	26			
		m	26			
		SK	34			
		MK	34			

3.3 Freiland-Untersuchungen

Zwischen 1987 und 2005 wurden Freiland-Untersuchungen auf natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten durchgeführt.

Natürliche Eichenmistel-Standorte in Frankreich

73 natürliche Eichenmistel-Standorte in Frankreich wurden anlässlich von Mistelernten (im Juni bzw. Dezember), von Begutachtungen neu registrierter Bäume (im April) und von Eichelsammlungen (im Oktober) im Boden bzw. in den Eichenblättern und Eichenmisteln beprobt. Die Standorte repräsentierten etwa 20% der im Mistelforschungsinstitut Hiscia (Arlesheim/CH) registrierten natürlichen Eichenmistel-Standorte in Frankreich und wurden dem Misteleichen-Register entsprechend mit Ziffern bezeichnet. Tabelle A-1 (im Anhang) enthält folgende Angaben zu den untersuchten natürlichen Eichenmistel-Standorten:

- Spezies (Spec.): *Q. robur/petraea* oder Hybriden
- Mistelquantität (MQ): Ernteeiche (E) mit viel, Saateiche (S) mit wenig Mistelbewuchs
- Alter: geschätztes Alter der Eichen in Jahren
- Nutzung: Angaben zur generellen Nutzung des Standortes:
 - Fo = Forst / Ak = Ackerbau / Gr = Grünland
- Analyse Art der durchgeführten Analyse:
 - BA = Boden-Analyse
 - EA = Eichenblatt-Analyse
 - MA = Mistel-Analyse

Die im Misteleichen-Register notierten Standort-Koordinaten wurden vertraulich behandelt und sind bei Bedarf im Mistelforschungsinstitut Hiscia (Arlesheim/CH) zu erfragen.

Kultivierte Eichenmistel-Standorte

Von 11 kultivierten Eichenmistel-Standorten wurden Bodenproben und Pflanzenproben (Wirtsbaumblätter, Mistel) untersucht. Tabelle A-14 enthält allgemeine Angaben zu Lage, Größe, Jahr der Inkulturnahme, Exposition, Feuchtigkeit und Lichtverhältnissen der in der Schweiz (n=8) sowie in Frankreich (n=2) und Deutschland (n=1) gelegenen Standorte.

Untersuchungen am "Kalk"- und "Ton"-Standort

Zwei kultivierte Standorte in der Schweiz, auf denen Mitte der 1980er Jahre Chlorosen (*Höfli-1*) bzw. eine überraschende Mistelempfänglichkeit (*Disli-oben*) an kultivierten Eichen aufgetreten waren, wurden ab 1989, ergänzend zu Gefäßversuchen mit den entsprechenden Böden, durch Boden- und Pflanzenanalysen im Freiland untersucht (siehe Kap. 3.2).

Der Boden am Standort *Höfli-1* wird der geologischen Entwicklung des Dogger (brauner/mittlerer Jura) zugeordnet (Bitterli-Brunner et al. 1984); das geologische Ausgangsmaterial besteht aus Hauptrogenstein, der entstand, als sich im flachen Urmeer von Algen ausgefallter Kalk konzentrisch um Schalenrümmer und Sandkörner lagerte, die in der wechselnden Strömung zu kleinen Kugeln gerollt wurden. Im Folgenden wird der Standort als "Kalk"-Standort, der Boden als "Kalk"-Boden bezeichnet.

Der Ursprung des Bodens auf dem Standort *Disli* wurde seiner geologischen Entwicklung nach im Malm (weißer, oberer Jura) datiert; als Ausgangsmaterial liegt Oxfordmergel vor (Bitterli-Brunner et al. 1984), der durch Kalk-Anreicherung aus dunkel gefärbtem, Fe-reichen, in den sauren pH-Bereich neigenden Oxfordton hervorgegangen ist und stellenweise von diesem durchdrungen wird (Anon 1967). Die unerwartete Mistelempfänglichkeit von Eichen trat in einem eng begrenzten Areal (100 m²) auf, wo der saure, Fe-reiche Oxfordton an die Oberfläche ragte. Dies Areal wird durch die Bezeichnung *Disli-oben* vom Standort *Disli* unterschieden und nachfolgend als "Ton"-Standort, der Boden als "Ton"-Boden bezeichnet.

Kultivierung von Misteleichen durch Veredelung und baumschulmäßige Anzucht

Die ab 1975 durchgeführte Kultivierung von Eichenmisteln gliederte sich in drei Phasen:

- 1) Anzucht von Eichenbeständen durch Veredelung oder baumschulmäßige Anzucht
- 2) Selektion mistelempfänglicher Eichen
- 3) Kultivierung erntefähiger Misteln.

Bei der *Veredelung* wurden Edelreiser von misteltragenden französischen Eichen auf einheimische, Standort-angepaßte Eichenunterlagen gepfropft; nach erfolgreichem Anwachsen wurden aus dem Edelreis hervorgehende Zweige mit Mistelkernen besetzt.

Bei der *baumschulmäßigen Anzucht* wurden Eicheln von natürlichen Eichenmistel-Standorten auf zwei Baumschul-Standorten (Bodenparameter in Tab. A-25) in geschützten Saatbeeten reihenweise ausgesät. Während der fünf- bis siebenjährigen Anzucht wurden die jungen Bäume zwei- bis dreimal verschult, indem die Pfahlwurzeln unterschritten und die Bäume vereinzelt wurden.

Vom fünften Wachstumsjahr an wurden am Zentralstamm und auf Seitenzweigen Mistelkerne ausgebracht, um die mistelempfänglichen Bäume zu selektieren. Als mistelempfänglich wurden Eichen eingestuft, sobald ein Mistelkeimling die Primärblätter entfaltet hatte oder der Wirtszweig unter dem Mistelkeimling eine deutliche Schwellung entwickelte, was die Etablierung eines Mistelsenkers signalisierte. Mistelemfängliche Bäume wurden aus der Baumschule auf kultivierte Standorte verpflanzt.

Selektierte junge Misteleichen wurden gezielt für die Mistelproduktion eingesetzt, sobald sie eine Höhe von etwa 2 Metern und eine entsprechende Krone mit mehreren Zweigen entwickelt hatten. Dazu wurden jährlich im Frühling (März/April) auf 5 bis 10 einjährigen



Wirtszweigen in der Kronenperipherie je 10 Mistelkerne ausgebracht, pro Baum also je nach Kronengröße 50 bis 100 Mistelkerne (Abb. 3.2). Unter Praxisbedingungen entwickelten sich daraus innerhalb von 10 bis 12 Jahren mehrere erntefähige Mistelbüsche pro Baum. Detaillierte Kontrollen der einzelnen Mistelaussaaten konnten aus Zeitgründen nicht durchgeführt werden.

Abb. 3.2: Mistelaussaat auf einer veredelten Eiche

Um eine möglichst große Anzahl Bäume in kurzer Zeit mit Mistelkernen zu besäen, wurden jeweils ab Ende Januar mehrere zehntausend Mistelkerne zur Aussaat vorbereitet. Die Endospermkerne wurden mit dem anhaftenden, Viscin- und Polysaccharid-haltigen inneren Mesokarp (Sallé 1983) aus den Früchten gelöst und in Petrischalen so angeordnet, daß die einzelnen Kerne ausreichend Licht erhielten (Abb. 3.3). Mit einem Ventilator wurde das Mesocarp sanft getrocknet; anschließend wurden die Kerne in den gedeckten Petrischalen kühl und hell, aber geschützt vor direktem Sonnenlicht im Freien gelagert.

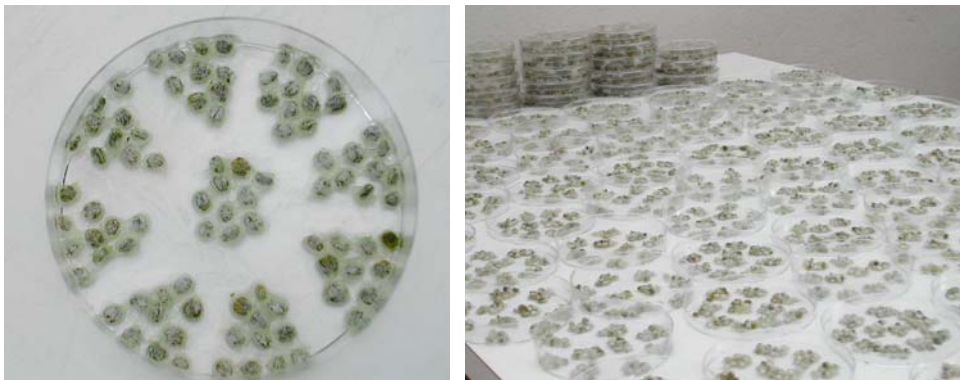


Abb. 3.3: Zur Aussaat vorbereitete Mistelkerne aus Früchten von *Viscum album*

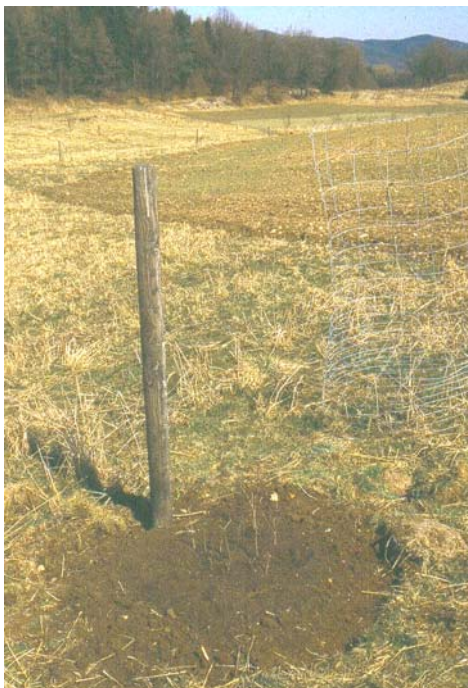
Um Einflüsse von Standortfaktoren auf die Kultivierung von Eichenmisteln quantitativ zu vergleichen, wurden für jeden Standort folgende Parameter bestimmt:

- Gesamtzahl gepflanzter Eichen
- Eichen aus Veredelung, Baumschulanzucht bzw. Direktsaat
- Gesamtzahl mistelempfänglicher Eichen
- mistelempfängliche Eichen aus Veredelung, Baumschulanzucht bzw. Direktsaat
- Eichenmistel-Erntemengen pro Standort

Kultivierung von Misteleichen durch Direktsaat und Selektion auf Endstandorten

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die erstmals angewandte Methode *Direktsaat und Selektion von Misteleichen am Endstandort* untersucht und geprüft, inwieweit sie zur Anzucht von Eichenbeständen für die Mistelkultivierung geeignet ist. Hierzu wurden Eicheln von natürlichen Eichenmistel-Standorten gruppenweise auf vorbereitete Endstandorte (Saatplätze) gesät, wo sich die Pfahlwurzeln unbeeinträchtigt von Verschulungsmaßnahmen entwickeln konnten. Als Vorteil wurde erachtet, daß die Eichen dadurch schnell und nachhaltig Anschluß an das Grundwasser gewinnen und optimale Bodenhorizonte für die Bildung von Seitenwurzeln und die Nährstoffaufnahme auswählen konnten (Burger 1944).

Aussaatplätze hatten einen Durchmesser von 1 Meter und wurden in oder am Rand von Grünland, das an Wald grenzte, eingerichtet (Abb. 3.4). Die Grasnarbe wurde abgetragen, der Boden ca. 20 cm tief gelockert, von Kraut, Wurzeln sowie Steinen befreit und glatt geharkt.



Im Abstand von etwa 7 auf 7 cm wurden – je nach Anzahl zur Verfügung stehender Samen – 10 bis 30 Eicheln ausgelegt und mit 2 bis 4 cm Feinerde bedeckt.

Abb. 3.4: Zur Direktsaat von Eichen vorbereiteter Saatplatz

Jeder Saatplatz wurde mit 3 cm Rindenhäcksel bedeckt, um Beikraut zu unterdrücken (Niggli et al. 1989). Die resultierende Saattiefe der Eicheln von 5 bis 7 cm entsprach Empfehlungen von Burger (1944) und dem Optimum, bei dem Nilsson et al. (1996) auf freien, unbeschatteten Flächen nach Bodenbearbeitung und Unkrautbeseitigung die höchsten Keimraten (>70%) ausgesäter Stieleichen feststellten.

In den ersten Jahren erfolgte die Aussaat im Herbst (Oktober), was Burger (1944) als optimal wertet, da es den natürlichen Bedingungen der Eichelkeimung entspricht. Aufgrund teils erheblicher Verluste durch Mäusefraß im Winter wurde ab 1994 die Aussaat in das Frühjahr (März/April) verlegt und das Saatgut in feuchtem Sand kühl überwintert.

Als Schutz gegen Wildfraß (Rehe, Wildschweine) wurde um jeden Aussaatplatz ein 120 cm hoher Drahtzylinder installiert und mit drei Holzpfählen stabilisiert. Gegen Mäusefraß wurden in späteren Jahren unter neu anzulegenden Saatbeeten engmaschige Drahtkörbe im Boden eingegraben; auf bestehenden Saatplätzen mit bereits wachsenden Eichen wurde Knoblauch als Repellent gegen Wühlmäuse gepflanzt. Stark verkrautete Saatplätze wurden regelmäßig gejätet. Grasbewuchs zwischen den Saatplätzen wurde als Heu abgeführt.

Im Herbst 1990 wurden zunächst 46 Saatplätze eingerichtet. In den Folgejahren wurden weitere Ersts Saatplätze angelegt und auf alten Saatplätzen, wo kein oder nur ein Eichensämling überlebt hatte, Eicheln nachgesät. Sobald die Eichen nach etwa 4 Jahren eine Höhe von etwa 50 cm erreicht hatten, wurden am Hauptstamm oder auf Seitenzweigen je 10 Mistelkerne ausgebracht. Abhängig von Größe und Alter der Bäume wurden danach jährlich bis zu 50 Mistelkerne pro Baum ausgebracht, bis auf dem jeweiligen Saatplatz auf mindestens einer Eiche eine Mistel die Primärblätter zu entfalten begann (Abb. 3.5) oder am Zweig unter der Haftscheibe der Mistel eine Schwellung sichtbar wurde. Die übrigen Bäume wurden entfernt, um der selektierten Misteleiche optimale Licht- und Wachstumsverhältnisse zu sichern.



Abb. 3.5: Wachsende Keimlinge von *Viscum album*

Folgende Parameter wurden notiert bzw. quantitativ bonitiert:

- Aussaattermin, Mutterbaum der Eicheln, Anzahl gesäter Eicheln
- Anzahl gekeimter Eichen, als Keimrate (in %) berechnet
- erste Ausbringung von Mistelkernen, deren Herkunft und Anzahl pro Eiche
- Zeitpunkt der Selektion der ersten mistelempfängliche Eiche
- Anzahl wachsender Eichen am Saatplatz zum Zeitpunkt der Selektion

3.4 Bodenanalysen

Freiland-Bodenproben stammten als Mischproben (je 5 Einstiche in einem Meter Abstand von misteltragenden Eichen oder gleichmäßig über kultivierte Standorte verteilt) aus dem Oberboden (0 bis 25 cm) und wurden nach Lufttrocknung und Zerkleinern auf 2 mm gesiebt.

In den Bodenproben von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten wurden in einem Standard-Analysenprogramm durch das Institut Balzer (DE-Amönau) der Humus-Gehalt, der $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ und pH_{KCl} -Wert sowie die extrahierbaren Gehalte der Elemente Ca, P, K, Mg, Mn, Fe, Zn und Cu untersucht (Balzer 2002). Tabelle 3.5 gibt einen Überblick über die untersuchten Parameter, die im Text benutzten Abkürzungen sowie die Extraktionsmethoden. Der Anhang "extr" dient als Abkürzung für die Extraktion mit $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$. Zur Einordnung der ermittelten Bodenparameter wurden die von Balzer (2002) angegebenen Richtwerte für mittlere bis hohe Versorgungsgrade auf Grünland herangezogen (Tab. 3.5).

Tab. 3.5: Untersuchte Bodenparameter, Bestimmungsmethoden und Richtwerte nach Balzer (2002)

Bodenparameter	Abkürzung	Methode/Extraktion	Richtwerte (Grünland)	Einheit
Humus	OS	Glühverlust	3.00 – 4.00	%
pH-Wert _{Wasser}	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	H_2O	6.0 – 7.0	
pH-Wert _{Kaliumchlorid}	pH_{KCl}	0.1n KCl	5.0 – 6.0	
Phosphor	P_{Citr}	Citrat	0.03 – 0.09	g kg^{-1}
Kalium	K_{DL}	Doppellactat	0.03 – 0.10	g kg^{-1}
Kalzium	Ca_{extr}	$\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$	1.50 – 8.00	g kg^{-1}
Magnesium	Mg_{DL}	Doppellactat	0.10 – 0.30	g kg^{-1}
Mangan	Mn_{extr}	$\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$	20.0 – 100	mg kg^{-1}
Eisen	Fe_{extr}	$\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$	20.0 – 100	mg kg^{-1}
Zink	Zn_{extr}	$\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$	5.00 – 20.0	mg kg^{-1}
Kupfer	Cu_{extr}	$\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$	1.00 – 4.00	mg kg^{-1}

Die in Tab. 4.46 dokumentierten Analysenergebnisse für Freiland-Bodenproben vom "Kalk"- und "Ton"-Standort wurden wie folgt bestimmt:

- pH_{H_2O} : in einer wässrigen Bodensuspension (40g lufttrockner Boden + 100 ml $Aqua_{dest.}$), nach Scheffer-Schachtschabel (1979);
- Humusgehalt (% OS): als Glühverlust nach Taylor (1966);
- pflanzenverfügbare Ca-, Fe-, Mn-Gehalte sowie schwerlösliche P-Gehalte: nach Isaac und Kerber (1971) im Säureextrakt (5 g lufttrockner Boden, versetzt mit 20 ml Säure [0.05N HCl / 0.025N H_2SO_4], 15 Minuten mechanisch geschüttelt, Filtrat auf 50 ml Säure aufgefüllt), mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS);
- wasserlösliche P_{H_2O} -Gehalte: nach Extraktion mit Wasser (nach Olsen und Sommers 1982) mittels der Ascorbinsäure-Methode nach Murphy und Riley (EDI 1983).

3.5 Pflanzenanalysen

Pflanzenproben von Eichen und als Stichproben auch von Apfel, Ulme, Tanne und Kiefer bestanden aus 5 bis 7 ausgewachsenen Blättern bzw. einjährigen Nadeltrieben und wurden überwiegend im Juni, teilweise auch im Oktober geerntet.

Mistelproben von Eichen und als Stichproben auch von Apfel, Ulme, Tanne und Kiefer bestanden, der pharmazeutischen Verarbeitung entsprechend (siehe Kap. 3.6), aus den ein- und zweijährigen Sproßorganen: im Juni (Sommer) aus zwei Blatt- und Stengelgenerationen sowie grünen Früchten, im Dezember (Winter) dagegen nur aus einer Blatt-Generation, zwei Stengel-Generationen, reifen Früchten sowie den Blütenknospen (Abb. 3.6). Im Oktober waren die älteren Blätter bereits abgefallen, die Früchte noch unreif und die Blütenknospen erst schwach entwickelt; im April beprobte Misteln zeigten erneutes Streckungswachstum in den älteren Blättern, während die jungen Blätter zu treiben begannen, die Blütenknospen abgefallen waren bzw. die Früchte zu schwellen begannen.

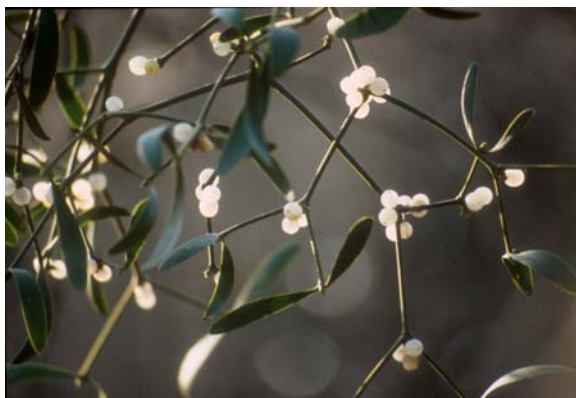


Abb. 3.6: Weißbeerige Mistel (*Viscum album*) im Winter (links) und im Sommer (rechts)

Die Pflanzenproben wurden bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und als Mischprobe zur Analyse an ein Auftragslabor versandt. Von 1988 bis 1994 führte das analytische Labor der LONZA in Visp/CH die Pflanzenanalysen durch. Pflanzenmaterial wurde in einer Turbomühle auf 1 mm zerkleinert und im Muffelofen bei 550°C verascht. Die Asche wurde in Salzsäure aufgenommen und filtriert, worauf im Filtrat die folgenden 18 Mineralstoffe mit ICP-OES bestimmt wurden (Lonza 1994): die Hauptelemente N, P, K, Ca und Mg, die essentiellen Spurenelemente Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, ferner Na und Co sowie die potentiell toxischen Elemente Al, Pb, Ni, Cr und Cd. Ab 1991 umfaßte das Analysen-Programm der LONZA die Hauptelemente P, K, Ca und Mg, die essentiellen Spurenelemente Fe, Mn, Zn, Cu, B und Mo, ferner Na und schließlich Al als potentiell toxisches Element.

Ab 1995 wurden die UFAG-Laboratorien in Sursee/CH mit der Probenanalyse beauftragt und mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) die Elemente Ca und Mn sowie in einzelnen Proben auch die Elemente P, K, Fe und Na bestimmt.

Für die in Kapitel 4.3 dargestellten Mineralstoff-Gehalte in Eichenblättern vom "Kalk"- und "Ton"-Standort (Tab. 4.47) sowie in Sproß- und Wurzelproben von Eichensämlingen aus dem Gefäßversuch "Wug" (Tab. 4.54, Tab. 5.55) wurden Ca-, Fe-, Mn- und P-Gehalte nach Isaac und Kerber (1971) sowie Murphy und Riley (EDI 1983) bestimmt (siehe Kap. 3.4).

Alle Angaben zu Mineralstoff-Gehalten beziehen sich auf Trockensubstanz.

Wassergehalt, Blattfläche und Chlorophyll-Gehalt

In Blättern von je drei Eichen vom "Kalk"- und "Ton"-Standort wurden bestimmt:

- Wassergehalt (% H₂O): errechnet für je drei Blätter pro Baum als Verhältnis von Frisch- und Trockengewicht nach Trocknung bei 95° C bis zur Gewichtskonstanz;
- spezifische Blattfläche: errechnet für je drei Blätter pro Baum nach Kopieren der Blätter und Gewichtsvergleich mit Standardflächen von Kopierpapier, als spezifische Blattfläche auf Trockengewicht bezogen (cm² mg⁻¹ TG) ;
- Chlorophyll-Gehalt: 1 g Blattmasse wurde unter Zusatz von Quarzsand und flüssigem Stickstoff zermörsert, in 80%igem Aceton (800 ml Aceton, 200 ml H₂O, 680 µl NH₃ [25%]) aufgenommen und in Erlenmeyerkolben filtriert; der Filtrierrückstand wurde mit Aceton gespült, anschließend wurde erneut filtriert und das gesamte Filtrat auf 100 ml Aceton aufgefüllt; mit Hilfe entsprechender Meßwerte bei 750, 664 und 647 nm wurde der Gehalt an Chlorophyll a und b bestimmt sowie der Gesamtchlorophyll-Gehalt berechnet und auf das Frischgewicht bzw. die spezifische Blattfläche bezogen.

3.6 Mineralstoffanalysen in pharmazeutischen Extrakten

Die pharmazeutische Verarbeitung der Mistel zum Iscador® umfaßt die im folgenden Schema dargestellten Stufen (Overstolz 2005):

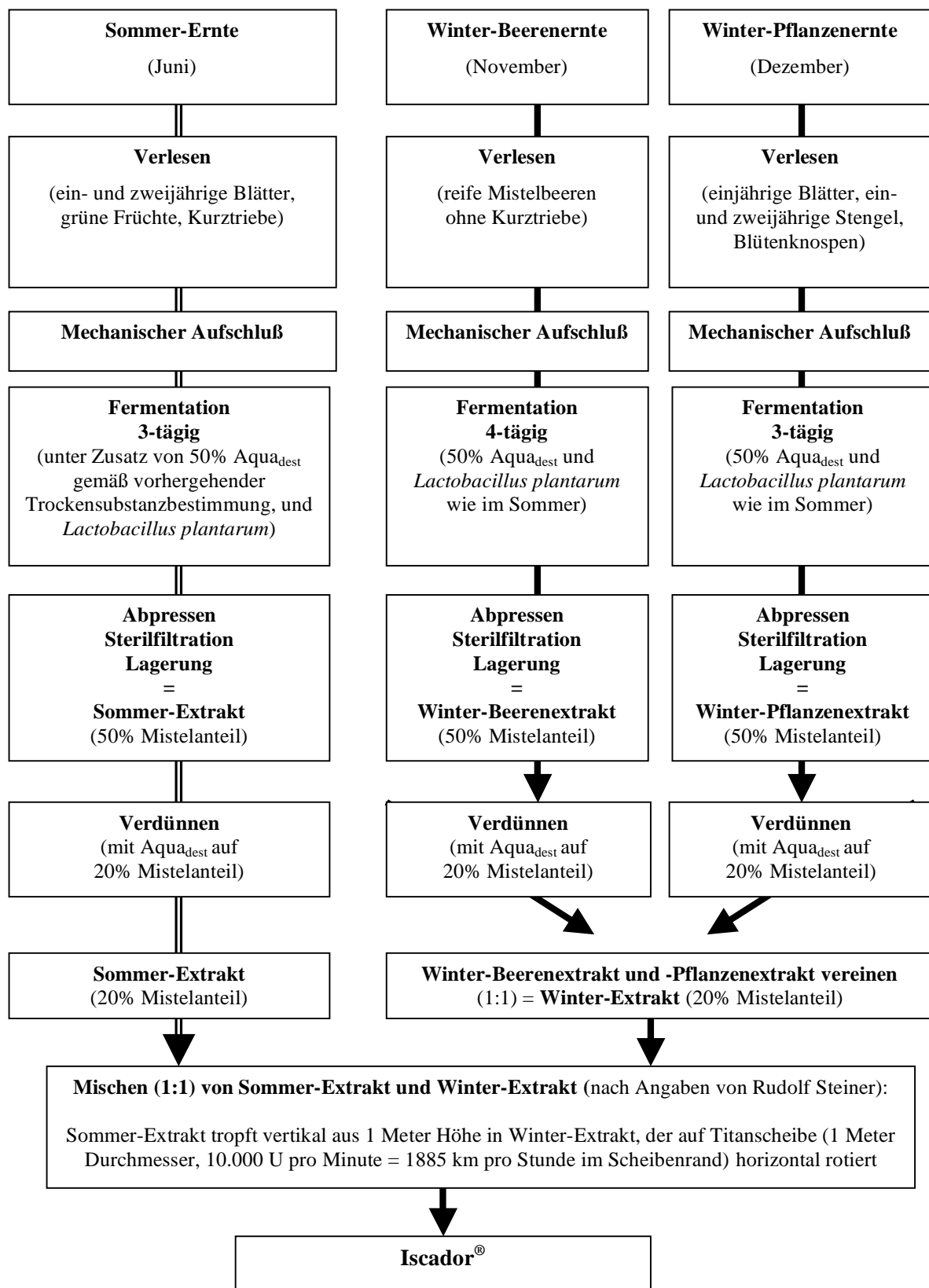


Abb. 3.7: Schematische Darstellung der pharmazeutischen Mistelverarbeitung zu Iscador®

Folgende Extrakte aus der Mistelverarbeitung zum pharmazeutischen Endprodukt (Iscador) wurden untersucht:

▪ Sommer-Extrakt (50% Mistel-Trockensubstanz):

ein- und zweijährige Stengel, Blätter sowie grüne Früchte und Kurztriebe mit Blütenkospen von Misteln wurden im Juni geerntet, mit Steinwalzen mechanisch zerkleinert, mit destilliertem Wasser gemäß vorhergehender Trockensubstanzbestimmung auf 50% Mistel-Trockensubstanz eingestellt und unter Zusatz mistelspezifischer Lactobazillen über einen Zeitraum von drei Tagen fermentiert; dann wurde der wässrige Extrakt abgepresst, sterilfiltriert und kühl gelagert.

▪ Winter-Extrakt (50% Mistel-Trockensubstanz)

zu gleichen Teilen aus Mistelpflanzen- und Mistelbeeren-Extrakt bestehend:

- Winterpflanzen-Extrakt: aus ein- und zweijährigen Stengeln, Blättern sowie Kurztrieben mit Blütenkospen, aber ohne Früchte, im Dezember geerntet, mit Steinwalzen mechanisch zerkleinert, mit Aqua_{dest} gemäß vorhergehender Bestimmung auf 50% Mistel-Trockensubstanz eingestellt, unter Zusatz mistelspezifischer Lactobazillen über einen Zeitraum von drei Tagen fermentiert; als wässriger Extrakt abgepreßt, sterilfiltriert und kühl gelagert;
- Winterbeeren-Extrakt: aus Mistelbeeren, Mitte bis Ende November geerntet, mechanisch unter Zusatz von Eiswürfeln mittels Steinwalzen zerkleinert, mit Aqua_{dest} gemäß vorhergehender Bestimmung auf 50% Beeren-Trockensubstanz eingestellt, unter Zusatz mistelspezifischer Lactobazillen über einen Zeitraum von vier Tagen fermentiert; dann als wässriger Extrakt abgepreßt, sterilfiltriert und kühl gelagert; die längere Fermentationszeit wie auch der Zusatz von Eis beim Zerkleinern waren durch die Konsistenz der Mistelbeeren bedingt;

▪ Iscador (20% Mistel-Trockensubstanz, pharmazeutisches Endprodukt)

Sommer-Extrakt und Winter-Extrakt (mit je 50% Mistel-Trockensubstanz) wurden mit Aqua_{dest} auf 20% Mistel-Trockensubstanz verdünnt, sterilfiltriert und zu gleichen Teilen durch einen speziellen Prozess gemischt. Dabei tropft der Sommer-Extrakt in den Winter-Extrakt, der auf einer Titanscheibe (1 Meter Durchmesser, 10.000 U min⁻¹) mit 1885 km h⁻¹ horizontal rotiert (Unger 1987).

Folgende wirtsspezifische Iscadorsorten wurden unterschieden:

- Iscador abietis = aus Misteln von Tanne (*Abies alba*),
- Iscador mali = aus Misteln von Apfel (*Malus domestica*)
- Iscador pini = aus Misteln von Kiefer (*Pinus sylvestris*)
- Iscador quercus = aus Misteln von Eiche (*Quercus robur/petraea*)
- Iscador ulmus = aus Misteln von Ulme (*Ulmus glabra, carpinifolia*).

In den zwischen 1991 und 1994 untersuchten pharmazeutischen Mistelextrakten wurden durch das analytische Labor der LONZA in Visp/CH die Elemente P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Na und Al mittels ICP-OES (optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma) bestimmt; ab 1995 wurden durch die UFAG-Laboratorien in Sursee/CH die Elemente Ca und Mn sowie in einzelnen Proben auch P, K, Fe und Na mittels Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) bestimmt.

3.7 Statistik

Für die statistische Verrechnung der Daten (deskriptive Statistik, Varianzanalysen, Korrelationsberechnungen) wurde das Statistikprogramm STATISTICA in den Versionen StatSoft (1994) für Mac und StatSoft (2001) für PC verwendet.

Mit dem Programm Microsoft Excel für Mac (Microsoft 2004) wurden Graphiken angefertigt, in denen die jeweils optimale Trendlinie mit Formel und Regressionskoeffizient dargestellt wurde.

4 Ergebnisse

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse stammen aus Freilanduntersuchungen und Gefäßversuchen, die von 1988 bis 2006 durchgeführt wurden. Der ungewöhnlich lange Zeitraum war unter anderem deshalb notwendig, weil die Eichenmistel-Kultivierung aufgrund des langsamen Wachstums von Eiche und Mistel sehr viel Zeit beansprucht.

In Kapitel 4.1 werden in Frankreich liegende natürliche Eichenmistel-Standorte durch Analysen von Boden, Wirtsblättern und Misteln charakterisiert. Damit verglichen werden in Kapitel 4.2 die Mineralstoff-Verhältnisse in Boden, Wirtsblättern und Misteln auf kultivierten Eichenmistel-Standorten. In Kapitel 4.3 wird anhand von Ergebnissen aus Gefäß- und Freilandversuchen untersucht, welchen Einfluß die Bodeneigenschaften von drei kultivierten Standorten auf das Wachstum und die Mistelempfänglichkeit von Eichen haben. Unter Berücksichtigung der Bodenreaktion sowie verschiedener Methoden bei der Anzucht mistelempfänglicher Eichen wird in Kapitel 4.4 eine Bilanz nach 30 Jahren Eichenmistel-Kultivierung gezogen. In Kapitel 4.5 wird geprüft, inwieweit Bodenparameter Einfluß auf die Gehalte an potentiell toxischen Elementen in Wirtsblättern und Misteln haben. In Kapitel 4.6 wird schließlich die Wirtsspezifität von Mineralstoff-Gehalten in pharmazeutischen Extrakten untersucht und mit Element-Konzentrationen in Misteln sowie Blättern und Nadeln der entsprechenden Wirtsbäume in Beziehung gesetzt.

4.1 Natürliche Eichenmistel-Standorte

Insgesamt wurden 73 natürliche Eichenmistel-Standorte in Frankreich beprobt. Davon wurden 31 als Ernte-Standorte (E) eingestuft, auf denen die Eichen mehrere große und wiederholt beerntete Mistelbüsche trugen. 42 Standorte wurden als Saat-Standorte (S) bezeichnet, da die Eichen nur wenige Mistelbüsche trugen und zusätzlich mit Mistelkernen besät werden mußten, um erntefähig zu werden (vgl. Ramm et al. 2000).

Auf 59 der 73 (81%) untersuchten Standorte wuchsen Stieleichen (*Q. robur*), darunter befanden sich 26 der 31 Ernteeichen; auf 10 Standorten (14%) standen Traubeneichen (*Q. petraea*), darunter waren 3 Ernteeichen (Tab. A-1). Dieses Artenverhältnis entsprach annähernd dem Verhältnis von *Q. robur* (80%) und *Q. petraea* (19%) im Gesamtbestand der registrierten einheimischen Misteleichen in Frankreich (Ramm et al. 2000). Auf 2 weiteren Standorten standen Saateichen, die als Hybriden (*Q. robur* x *petraea*) eingestuft wurden; auf 2 Standorten wuchsen Ernteeichen, deren Art nicht bestimmt wurde. Abbildung 4.1 zeigt die Differenzierung von Ernte- und Saateichen bezogen auf die Eichenart.

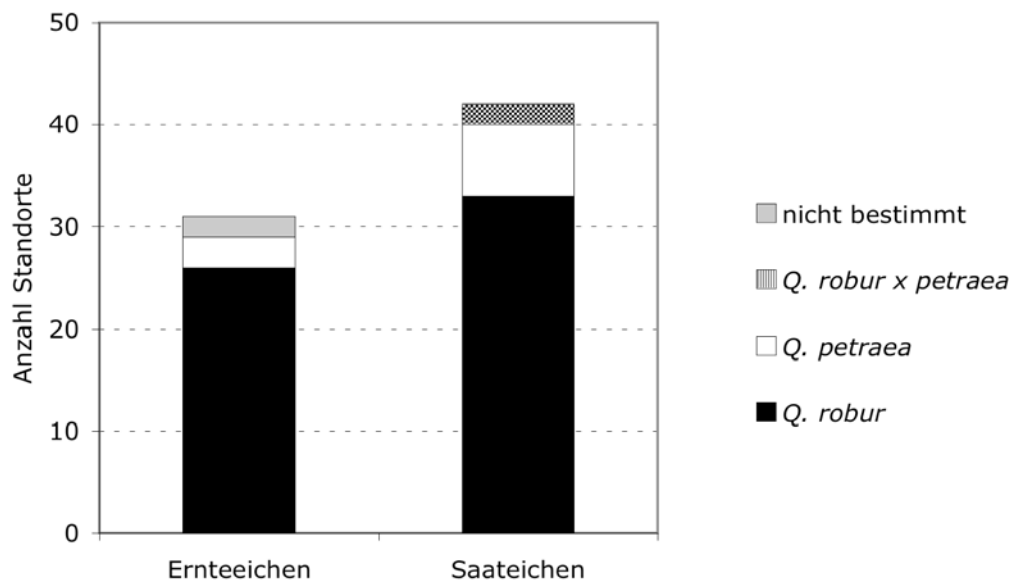


Abb. 4.1: Ernteeichen bzw. Saateichen von natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich, differenziert nach der Eichenart

Das geschätzte mittlere Alter der untersuchten Misteleichen betrug zum Zeitpunkt der Beprobung etwa 105 Jahre; etwa die Hälfte aller Bäume, darunter zwei Drittel der Ernteeichen, waren mindestens 100 Jahre alt, zum Teil jedoch deutlich älter (Tab. A-1).

62% der natürlichen Eichenmistel-Standorte in Frankreich ($n = 45$) waren forstlich geprägt, indem sie in oder am Rand von Wäldern lagen; 16 Misteleichen ($n = 12$) standen in oder am Rand von Ackerflächen; 22% der Standorte ($n = 16$) wurden als Grünland (Weide oder Wiese) genutzt (Abb. 4.2).

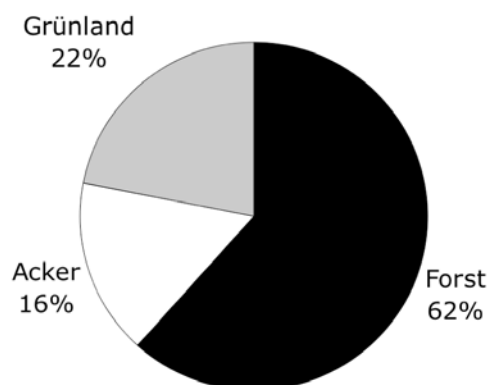


Abb. 4.2: Verteilung natürlicher Eichenmistel-Standorte in Frankreich auf generelle Nutzungsbereiche

4.1.1 Bodenanalysen

Bodenproben wurden auf insgesamt 65 natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich entnommen. Wie die deskriptive Statistik für die analysierten Bodenparameter (Tab. 4.1) verdeutlicht, hatten die untersuchten Standorte überwiegend saure Böden mit einem mittleren $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert von 5.9. Der mittlere pH_{KCl} -Wert von 5.0 lag erwartungsgemäß etwa eine Einheit niedriger, da die Extraktion mit KCl – wie diejenige mit CaCl_2 – mehr H^+ -Ionen aus der Bodenmatrix freisetzt als die H_2O -Extraktion (Scheffer-Schachtschabel 1979, BMVEL 2005). Der mittlere pH_{KCl} -Wert lag unter dem Richtwert für landwirtschaftlich genutzte tonarme Sandböden, den Scheffer-Schachtschabel (1979) mit $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 5.3 bis 5.7 angeben; im Einklang mit der Dominanz forstlich geprägter Standorte (Abb. 4.2) entsprach der $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert dem für artenreiche Buchenwälder als typisch geltenden $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert von 5.0 bis 6.2 (Lyr et al. 1992).

Tab. 4.1: Deskriptive Statistik für Bodenparameter natürlicher Eichenmistel-Standorte (n=65)

Parameter	OS	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{KCl}	P_{Cit}	K_{DL}	Ca_{extr}	Mg_{DL}	Fe_{extr}	Mn_{extr}	Zn_{extr}	Cu_{extr}
	%			g kg^{-1}				mg kg^{-1}			
Minimum	1.7	4.5	3.5	0.004	0.025	0.05	0.01	1.00	3.00	0.60	0.10
Maximum	11.4	7.8	7.2	0.226	0.469	13.4	0.49	660	363	62.0	4.20
Mittelwert	4.8	5.9	5.0	0.032	0.078	2.73	0.17	192	90.6	12.4	1.50
CV (%)	37.7	16.9	22.3	135	81.9	134	53.1	71.4	78.9	106	56.1

Erläuterungen: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{pH}_{\text{KCl}}$ = im H_2O - bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; $[\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Zn}, \text{Cu}]_{\text{extr}}$ = mit $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$ extrahierbare Gehalte; P_{Cit} = mit Citrat extrahierbares P, $[\text{K}, \text{Mg}]_{\text{DL}}$ = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

Die untersuchten Standorte waren ungleichmäßig auf die pH_{KCl} -Klassen nach Scheffer-Schachtschabel (1979) verteilt: 37% fielen in die Klasse "stark sauer" ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 4.0 - 4.9$), darunter befanden sich 14 von 24 (= 58%) der im Boden beprobten Ernte-Standorte (Tab. A-2a). Abgesehen von der pH-Klasse "schwach basisch" ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 7.0 - 7.9$), die ebenfalls mehr Ernte- als Saateichen enthielt, überwog in den übrigen pH_{KCl} -Klassen der Anteil Saateichen gegenüber dem Anteil der Ernteichen (Tab. 2a).

Verglichen mit extrahierbaren Ca_{extr} -Gehalten von 1.5 bis 8.0 g kg^{-1} (nach Balzer 2002, Tab. 3.5) waren die mittleren Gehalte von $2.73 \text{ g kg}^{-1} \text{ Ca}_{\text{extr}}$ in den überwiegend sauren Böden als besonders niedrig einzustufen. Zahlreiche Standorte hatten mit weniger als 0.5 g kg^{-1} Boden sogar extrem niedrige Ca_{extr} -Gehalte. Für den relativ hohen Variationskoeffizienten, der zugleich die große Spannweite von extrem sauren bis schwach basischen Böden auf

natürlichen Eichenmistel-Standorten charakterisierte, waren Standorte mit Gehalten von mehr als $10.0 \text{ g kg}^{-1} \text{ Ca}_{\text{extr}}$ im Boden (Tab. 4.1) verantwortlich.

Der mittlere Humus-Gehalt von 4.8% (Tab. 4.1) entsprach nach Scheffer-Schachtschabel (1979) dem Gehalt stark humoser Böden, lag über dem Gehalt ackerbaulich genutzter Mineralböden von 1.5 - 4.0% und reflektierte die Tendenz zur Anreicherung organischer Substanz in Forst- bzw. Grünland-Böden. Minima von 1.7% ("humushaltig") und Maxima von 11.4% ("sehr stark humos") spiegelten die Spannweite der Nutzung von Acker über Grünland bis Forst wider.

Der mit Doppellactat (DL) extrahierbare mittlere K_{DL} -Gehalt von 0.078 g kg^{-1} war nach Balzer (2002) als gute K-Versorgung zu werten (vgl. Tab. 3.5). Minima von $0.025 \text{ g kg}^{-1} \text{ K}_{\text{DL}}$ und Maxima von $0.469 \text{ g kg}^{-1} \text{ K}_{\text{DL}}$ sowie der hohe Variationskoeffizient deuteten auf Unter- bzw. Überversorgung auf einzelnen Standorten hin.

Der mittlere Mg_{DL} -Gehalt von 0.141 g kg^{-1} lag in dem von Balzer (2002) als gut eingestuften Rahmen für Grünland (Tab. 3.5); der Minimalwert von $0.01 \text{ g kg}^{-1} \text{ Mg}_{\text{DL}}$ deutete darauf, daß Unterversorgung in Einzelfällen nicht auszuschließen war.

Der mittlere Fe_{extr} -Gehalt von 192 mg kg^{-1} lag weit über dem von Balzer (2002) mit 20 bis $100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Fe}_{\text{extr}}$ angegebenen Bereich optimaler Fe-Versorgung (vgl. Tab. 3.5). Minima von $1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Fe}_{\text{extr}}$ und Maxima von $660 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Fe}_{\text{extr}}$ zeigten, daß für einige natürliche Eichenmistel-Standorte eine starke Unter- bzw. Überversorgung mit Fe vorlag.

Mittlere Mn_{extr} -Gehalte von 90.6 mg kg^{-1} lagen im Optimalbereich, den Balzer (2002) mit 20 bis $100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}_{\text{extr}}$ angibt (vgl. Tab. 3.5). Mit Minima von $3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}_{\text{extr}}$ und Maxima von $363 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}_{\text{extr}}$ waren einzelne Böden jedoch stark unter- bzw. überversorgt.

Auch der mittlere Zn_{extr} -Gehalt (12.4 mg kg^{-1}) lag innerhalb des Optimalbereiches von 5 - $20 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}_{\text{extr}}$ (Balzer 2002; vgl. Tab. 3.5); Minima von $0.6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}_{\text{extr}}$ und Maxima von $62 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}_{\text{extr}}$ unter- bzw. überschritten diese Grenzen jedoch teilweise erheblich.

Der mittlere Cu_{extr} -Gehalt war mit 1.5 mg kg^{-1} im unteren Optimum von 1.0 bis $4.0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cu}_{\text{extr}}$ angesiedelt (Balzer 2002; Tab. 3.5); Minima von $0.1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cu}_{\text{extr}}$ deuteten an, daß die Cu_{extr} -Versorgung einiger natürlicher Eichenmistel-Standorte zu niedrig war.

Die Prüfung auf statistische Sicherheit ergab signifikante Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren vor allem für den Fe-Gehalt (Tab. 4.2), indem die 1988, 1991 und 2003 beprobten Böden sehr hohe Fe_{extr} -Gehalte aufwiesen, die 1993 beprobten dagegen sehr niedrige Fe_{extr} -Gehalte, womit die höchsten pH-Werte und Ca_{extr} -Gehalte einhergingen. Die Zn_{extr} -Gehalte waren in den 2003 beprobten Böden erhöht, in den Proben von 2005 dagegen

extrem niedrig. Signifikant erhöhte P_{Cit} , K_{DL} - und Cu_{extr} -Gehalte sowie besonders niedrige pH-Werte und Ca_{extr} -Gehalte hatten die Proben von 1991. Der Mg_{DL} -Gehalt war 2003 besonders hoch. Im Mn_{extr} -Gehalt traten zwischen den Beprobungsjahren keine signifikanten Unterschiede auf (Tab. 4.2).

Tab. 4.2: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren in den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte

Jahr	n	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
		%			g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
1988	16	4.5 ^b	6.1 ^{ab}	5.2 ^{ab}	0.026 ^{bc}	0.086 ^b	2.47 ^{ab}	0.199 ^b	250 ^e	93.8 ^a	17.4 ^d	1.70 ^{bc}
1989	21	5.8 ^a	5.9 ^b	5.1 ^b	0.035 ^{ab}	0.076 ^b	3.38 ^{ab}	0.197 ^b	147 ^{ad}	103 ^a	14.3 ^{de}	1.70 ^{bc}
1990	15	4.4 ^b	5.7 ^b	4.7 ^b	0.016 ^b	0.050 ^b	2.58 ^{ab}	0.119 ^a	145 ^{acd}	89.9 ^a	6.10 ^b	1.20 ^{ac}
1991	3	4.6 ^{ab}	5.1 ^b	4.2 ^b	0.085 ^a	0.188 ^a	0.517 ^a	0.113 ^a	261 ^{de}	76.7 ^a	7.30 ^{bd}	2.50 ^b
1993	3	5.4 ^{ab}	7.0 ^a	6.4 ^a	0.075 ^{ac}	0.122 ^{ab}	6.63 ^b	0.170 ^{ab}	68.7 ^a	74.0 ^a	8.00 ^{bd}	1.70 ^{abc}
2003	2	5.0 ^{ab}	6.0 ^{ab}	4.8 ^{ab}	0.038 ^{ab}	0.077 ^b	0.850 ^{ab}	0.285 ^b	580 ^b	78.0 ^a	38.5 ^a	1.60 ^{abc}
2005	4	3.3 ^b	5.6 ^{ab}	4.5 ^b	0.029 ^{ab}	0.060 ^b	1.28 ^{ab}	0.143 ^{ab}	235 ^{ade}	66.0 ^a	2.80 ^{bce}	0.70 ^a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

Zwischen den Beprobungsmonaten bestanden Unterschiede insofern, als die Fe_{extr}-Werte in Juni-Proben erhöht und die Zn_{extr}-Werte in Oktober-Proben sehr niedrig waren (Tab. 4.3).

Tab. 4.3: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten in den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte

Monat	n	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
		%			g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
April	30	5.2 ^a	5.8 ^a	4.9 ^a	0.033 ^a	0.074 ^a	2.56 ^a	0.169 ^a	165 ^a	94.0 ^a	14.9 ^b	1.60 ^a
Juni	19	4.7 ^a	6.0 ^a	5.0 ^a	0.034 ^a	0.074 ^a	2.77 ^a	0.162 ^a	248 ^b	69.9 ^a	14.3 ^{ab}	1.40 ^a
Oktober	15	4.4 ^a	6.0 ^a	5.2 ^a	0.027 ^a	0.087 ^a	3.14 ^a	0.183 ^a	178 ^{ab}	109 ^a	5.50 ^a	1.50 ^a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

Natürliche Eichenmistel-Standorte mit sauren Böden hatten signifikant niedrigere pH-Werte, Humus- und Ca_{extr}-Gehalte sowie höhere Fe_{extr}- und Cu_{extr}-Gehalte als Standorte mit

basischen Böden. Die P_{Cit^-} , K_{DL} -, Mg_{DL} - und Mn_{extr} -Gehalte waren dagegen nicht signifikant verschieden (Tab. 4.4).

Tab. 4.4: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede in den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte mit basischem bzw. saurem $pH_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert im Boden

pH-Wert	n	OS	$pH_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{KCl}	P_{Cit^-}	K_{DL}	Ca_{extr}	Mg_{DL}	Fe_{extr}	Mn_{extr}	Zn_{extr}	Cu_{extr}
		%			g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
basisch	13	6.1 ^a	7.5 ^a	6.8 ^a	0.039 ^a	0.081 ^a	9.26 ^a	0.202 ^a	36.8 ^a	104 ^a	10.4 ^a	1.03 ^a
sauer	52	4.5 ^b	5.5 ^b	4.5 ^b	0.030 ^a	0.078 ^a	1.10 ^b	0.163 ^a	231 ^b	87.2 ^a	13.0 ^a	1.68 ^b

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; $pH_{\text{H}_2\text{O}}/pH_{\text{KCl}}$ = im H_2O - bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; $[Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{\text{extr}}$ = mit $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$ extrahierbare Gehalte; P_{Cit^-} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, $[K, Mg]_{\text{DL}}$ = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

Wurden die natürlichen Eichenmistel-Standorte nach der vorherrschenden Nutzung der Böden eingeteilt, ergaben sich signifikante Unterschiede insofern, als die P_{Cit^-} -, K_{DL} -, Mg_{DL} - und Cu_{extr} -Gehalte in Grünland-Böden deutlich höher und die Zn_{extr} -Gehalte in Ackerböden fast doppelt so hoch waren wie in Forstböden, die im Gegensatz zu den landwirtschaftlich genutzten Standorten nicht gedüngt, beweidet oder anderweitig bearbeitet wurden (Tab. 4.5).

Tab. 4.5: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede in den Bodenparametern verschieden genutzter natürlicher Eichenmistel-Standorte

Nutzung	n	OS	$pH_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{KCl}	P_{Cit^-}	K_{DL}	Ca_{extr}	Mg_{DL}	Fe_{extr}	Mn_{extr}	Zn_{extr}	Cu_{extr}
		%			g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
Forst	38	4.8 ^a	5.8 ^a	4.9 ^a	0.020 ^b	0.056 ^a	2.91 ^a	0.140 ^a	165 ^a	85.9 ^a	9.73 ^a	1.34 ^a
Acker	12	4.9 ^a	6.2 ^a	5.3 ^a	0.039 ^{ab}	0.075 ^a	3.15 ^a	0.222 ^b	214 ^a	108 ^a	18.5 ^a	1.63 ^{ab}
Grünland	15	5.0 ^a	5.9 ^a	5.0 ^a	0.055 ^a	0.137 ^b	1.96 ^a	0.209 ^b	245 ^a	88.7 ^a	14.4 ^{ab}	2.01 ^b

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; $pH_{\text{H}_2\text{O}}/pH_{\text{KCl}}$ = im H_2O - bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; $[Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{\text{extr}}$ = mit $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$ extrahierbare Gehalte; P_{Cit^-} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, $[K, Mg]_{\text{DL}}$ = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

Zwischen natürlichen Eichenmistel-Standorten mit Ernte- bzw. Saateichen waren in den untersuchten Bodenparametern keine signifikanten Unterschiede zu finden (Tab. A-3).

Standorte mit Traubeneichen (*Q. petraea*) hatten niedrigere pH-Werte und Zn_{extr} -Gehalte im Boden als Standorte mit Stieleichen (*Q. robur*); für andere Bodenparameter waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Eichenarten festzustellen (Tab. 4.6). Abbildung 4.3 zeigt die Verteilung der Eichenarten auf pH_{KCL} -Klassen.

Tab. 4.6: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Eichenarten in den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte

Eichenart	n	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
		%			g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
<i>Q. robur</i>	53	5.0 ^a	6.1 ^a	5.2 ^a	0.037 ^a	0.084 ^a	2.99 ^a	0.177 ^a	194 ^a	91.9 ^a	13.9 ^a	1.60 ^a
<i>Q. petraea</i>	10	4.0 ^a	5.1 ^b	4.1 ^b	0.009 ^a	0.052 ^a	1.62 ^a	0.129 ^a	196 ^a	79.0 ^a	4.50 ^b	1.30 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an. pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

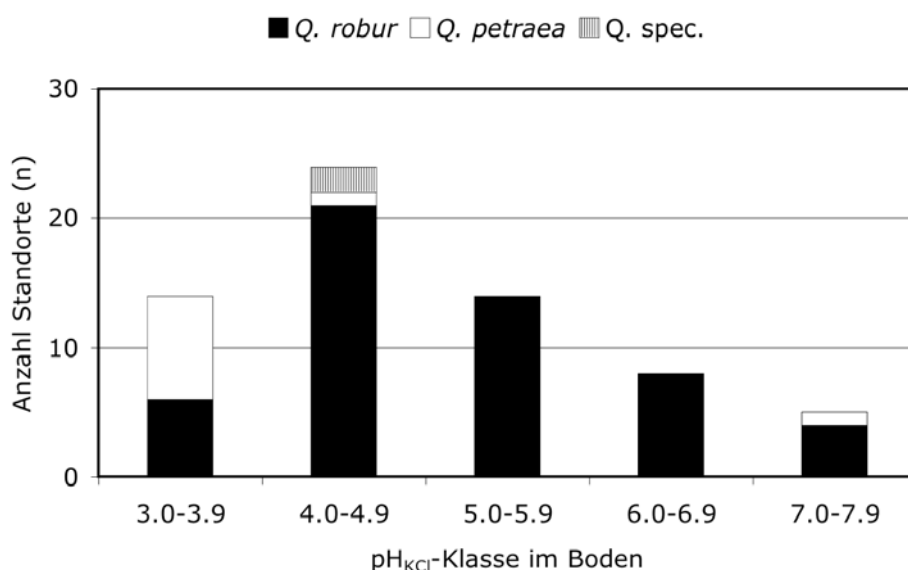


Abb. 4.3: Verteilung der Eichenarten auf pH_{KCl}-Klassen im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte

Erläuterung: pH_{KCl}-Klassen nach Scheffer-Schachtschabel (1979); Q. spec. = nicht bestimmte Arten.

Wie die Korrelationsmatrix in Tabelle 4.7 zeigt, waren die pH_{KCl}- und pH_{H2O}-Werte sehr eng untereinander und mit dem Ca_{extr}-Gehalt korreliert. Die Beziehung zwischen dem pH_{KCl}-Wert und dem Ca_{extr}-Gehalt im Boden (Abb. 4.4) wird durch den potentiellen Trend mit $r^2 = 0.79$ besser als durch die lineare Korrelation beschrieben.

Die Humus-Gehalte waren schwach, aber signifikant mit dem Ca_{extr}-Gehalt sowie dem pH_{KCl} korreliert. Auffallend war ferner die enge positive Korrelation zwischen den K_{DL}- und P_{Citr}-Gehalten (Tab. 4.7).

Tab. 4.7: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte (n=65)

		Bodenparameter								
		pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
Bodenparameter	OS	0.31	0.36	0.31	n.s.	0.48	0.32	n.s.	n.s.	n.s.
	pH _{H2O}		0.98	n.s.	n.s.	0.85	0.34	-0.38	n.s.	n.s.
	pH _{KCl}			0.28	n.s.	0.86	0.35	-0.44	n.s.	n.s.
	P _{Citr}				0.71	n.s.	0.34	n.s.	n.s.	n.s.
	K _{DL}					n.s.	0.30	n.s.	n.s.	0.29
	Ca _{extr}						0.25	-0.58	n.s.	-0.36
	Mg _{DL}							n.s.	0.28	n.s.
	Fe _{extr}								n.s.	0.32
	Mn _{extr}									0.36

Erläuterungen: pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbares P; [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

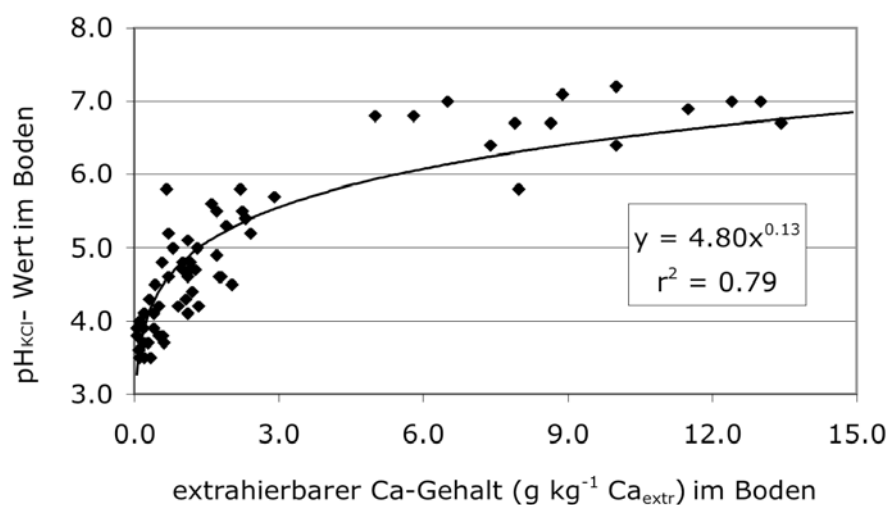


Abb. 4.4: Beziehung zwischen dem Ca_{extr}-Gehalt und dem pH_{KCl} im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte

Signifikant und negativ war der Fe_{extr}-Gehalt mit den pH_{KCl/H2O}-Werten sowie dem Ca_{extr}-Gehalt im Boden korreliert. Die negative Beziehung zwischen dem Ca_{extr}- und dem Fe_{extr}-Gehalt im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte (Abb. 4.5) wird durch den exponentiellen Trend mit $r^2 = 0.77$ besser als durch die lineare Korrelation beschrieben.

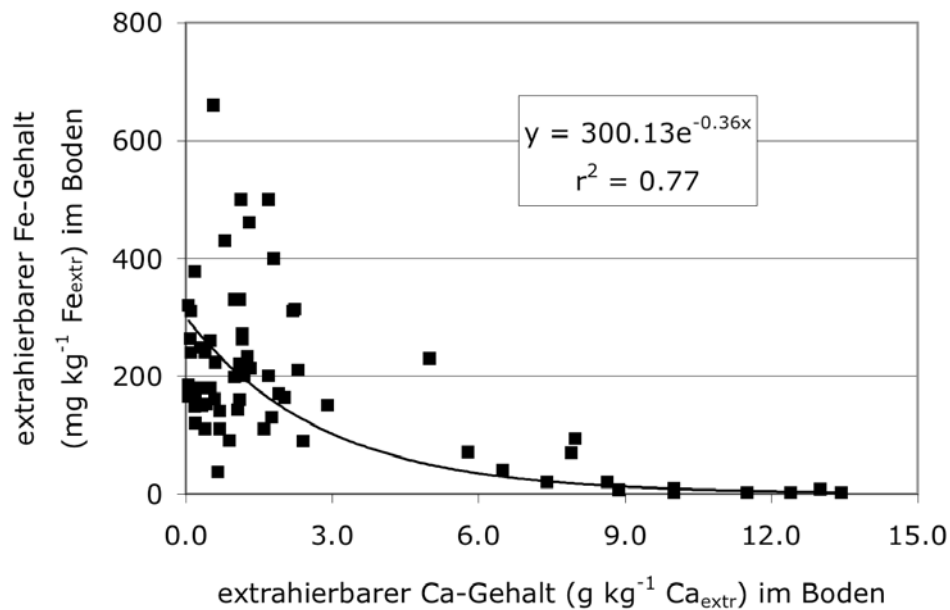


Abb. 4.5: Beziehung zwischen dem Ca_{extr}- und dem Fe_{extr}-Gehalt im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte

Der Mn_{extr}-Gehalt war nicht mit den Bodenparametern pH-Wert, Humus- und Ca_{extr}-Gehalt korreliert. Die höchsten Mn_{extr}-Gehalte wiesen Böden in der pH_{KCl}-Klasse "schwach sauer" auf; die niedrigsten Mn_{extr}-Gehalte fanden sich in den pH_{KCl}-Klassen "extrem sauer" bzw. "schwach basisch" (Abb. 4.6). Tabelle A-2b zeigt die Mittelwerte aller Bodenparameter in den einzelnen pH_{KCl}-Klassen.

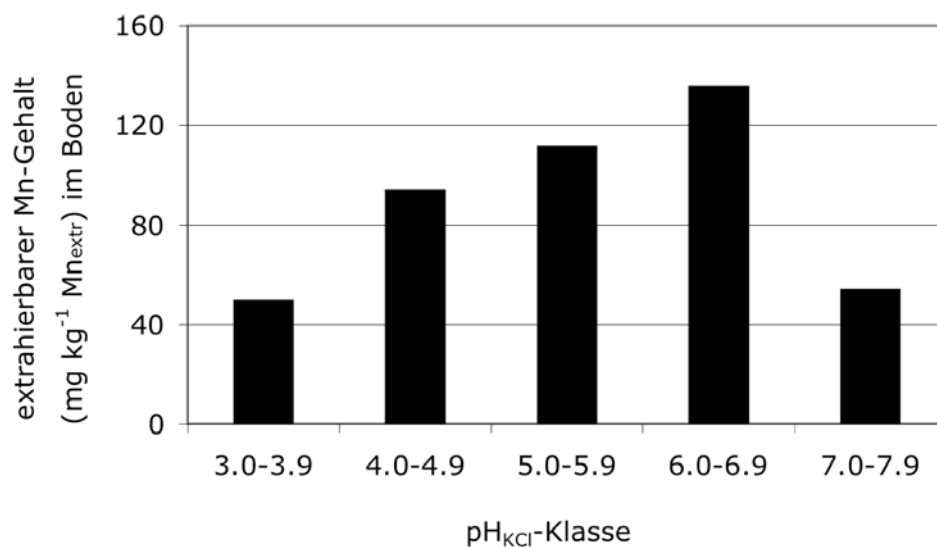


Abb. 4.6: Mittlere Mn_{extr}-Gehalte in den pH_{KCl}-Klassen der Böden natürlicher Eichenmistel-Standorte

4.1.2 Mineralstoffe in Eichenblättern

Die mittleren Mineralstoff-Gehalte in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten nahmen in der folgenden Reihenfolge ab (Tab. 4.8):

$N \gg K > Ca \gg P = Mg \gg Mn > Na > Fe \gg Zn = B \gg Cu \gg Co > Mo$.

Die Mineralstoffe lagen im Vergleich zu Angaben aus der Literatur (van den Burg 1989, Bergmann 1993, EC/UN-ECE 1995, Rademacher 2005a, b) in Größenordnungen vor, die für Eichenblätter als optimal bzw. ausreichend gelten (Tab. A-4). Auffallend waren allerdings der erhöhte Mn-Gehalt von 578 mg kg^{-1} sowie der infolge hoher Maxima und niedriger Minima große Variationskoeffizient für Mn. Die Minima im P-, K- und Mg-Gehalt ließen ferner auf eine limitierte Versorgung auf einzelnen Standorten schließen (Tab. 4.8).

Tab. 4.8: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
	g kg^{-1}					mg kg^{-1}							
n	14	23	23	29	23	25	329	23	23	23	14	23	14
Minimum	17.4	0.80	4.14	3.32	0.51	50.0	16.0	9.80	7.03	14.7	<0.09	179	<0.09
Maximum	27.7	2.28	14.0	23.5	2.50	260	2085	46.0	21.0	72.0	0.43	541	1.80
Mittelwert	22.8	1.53	8.92	9.90	1.47	152	565	23.2	11.7	28.1	0.15	324	0.61
CV (%)	14.9	23.6	29.7	52.1	30.6	39.0	79.8	43.1	31.1	48.7	64.7	33.5	87.0

Die Prüfung auf statistische Sicherheit ergab signifikante Unterschiede mit Bezug auf das Jahr der Beprobung: Die K-Gehalte in Eichenblättern waren auf den 1993 beprobten Standorten signifikant erhöht, die Ca-Gehalte 1989 und die Mg-Gehalte 1991 (Tab. 4.9).

Tab. 4.9: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Jahr	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
1988	7	24.4 ^a	7	1.56 ^a	7	7.84 ^a	7	7.47 ^b	7	1.40 ^a
1989	9	21.6 ^a	9	1.46 ^a	9	7.92 ^a	9	14.5 ^a	9	1.27 ^a
1991			2	1.99 ^a	2	10.2 ^{ab}	2	9.98 ^{ab}	2	2.07 ^b
1993			6	1.46 ^a	6	11.0 ^b	6	8.22 ^b	6	1.64 ^{ab}
2003							2	7.22 ^{ab}		
2005							4	9.93 ^{ab}		

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Signifikante Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren für den Mn-Gehalt beruhten auf hohen Werten im Jahr 1991 und niedrigen Werten im Jahr 1989. Für Zn und Cu traten erhöhte Werte im Jahr 1993 auf, für Na in den Jahren 1988 und 1989. Co zeigte besonders hohe Werte in den Proben von 1988 (Tab. 4.10).

Tab. 4.10: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Jahr	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
1988	7	133 ^a	7	561 ^{ab}	7	18.4 ^a	7	12.2 ^{ab}	7	24.4 ^a	7	0.16 ^a	7	398 ^b	7	1.03 ^b
1989	9	152 ^a	9	381 ^b	9	16.6 ^a	9	9.00 ^b	9	36.8 ^a	9	0.15 ^a	9	350 ^b	9	0.29 ^a
1991	2	134 ^a	2	1138 ^a	2	28.0 ^{ab}	2	12.5 ^{ab}	2	22.0 ^a				344 ^{ab}		
1993	6	203 ^a	6	444 ^{ab}	6	36.3 ^b	6	15.0 ^a	6	23.2 ^a				235 ^a		
2003	2	111 ^a	2	465 ^{ab}												
2005			4	923 ^{ab}												

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Zwischen den Beprobungsmonaten traten signifikante Unterschiede insofern auf, als die N-, K- und Mg-Gehalte im Juni am höchsten waren, die Ca-Gehalte dagegen in den Oktoberproben höher lagen als im Juni (Tab. 4.11). Die Zn-, Cu- und Co-Gehalte waren im Juni höher als im Oktober, während der B-Gehalt im Oktober am höchsten war (Tab. 4.12).

Tab. 4.11: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Monat	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
Juni	8	24.6 ^b	17	1.55 ^a	17	9.23 ^a	23	8.01 ^a	17	1.58 ^b
Oktober	6	20.4 ^a	6	1.46 ^a	6	8.05 ^a	6	17.1 ^b	6	1.15 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. 4.12: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Monat	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
Juni	19	143 ^a	23	602 ^a	17	26.1 ^b	17	12.7 ^b	17	23.8 ^a	8	0.14 ^a	17	300 ^a	8	0.89 ^b
Oktober	6	183 ^a	6	425 ^a	6	15.1 ^a	6	8.60 ^a	6	40.0 ^b	6	0.17 ^a	6	393 ^a	6	0.23 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Die Prüfung auf statistische Sicherheit ergab für den Gehalt an Hauptelementen (N, P, K, Ca, Mg) keine signifikanten Unterschiede zwischen natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden (Tab. A-5). Eichenblätter von Standorten mit sauren Böden wiesen signifikant höhere Mn-Gehalte auf als Eichenblätter von Standorten mit basischen Böden (Tab. 4.13).

Tab. 4.13: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden

Bodenreaktion	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
basisch	6	124 ^a	6	265 ^b	6	19.9 ^a	6	11.1 ^a	6	28.9 ^a	3	0.14 ^a	6	379 ^a	3	0.63 ^a
sauer	16	138 ^a	19	545 ^a	14	17.5 ^a	14	11.0 ^a	144	23.1 ^a	8	0.12 ^a	14	385 ^a	8	0.77 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Zwischen natürlichen Eichenmistel-Standorten mit unterschiedlichen Eichenarten (Tab. A-5) sowie mistelreichen Ernte- bzw. mistelarmen Saateichen (Tab. A-6) ergab die Prüfung auf statistische Sicherheit keine signifikanten Unterschiede in den untersuchten Mineralstoff-Gehalten.

Die Matrix der signifikanten linearen Korrelationen (Tab. 4.14) zeigt, daß insbesondere die Mn- und B-Gehalte der Eichenblätter mit Bodenparametern in Beziehung standen: Der Mn-Gehalt war signifikant und negativ mit dem pH-Wert und dem Ca_{extr} -Gehalt korreliert (Tab. 4.14). Dieses Resultat entsprach Literaturangaben, wonach erhöhte Mn-Verfügbarkeit bei niedrigem pH zu erhöhten Mn-Gehalten in Pflanzen führt (Mengel und Kirkby 1982, Amberger 1983, Schnug 1985, Rengel 2000), während hohe Ca-Gehalte durch Ionenkonkurrenz die Mn-Aufnahme behindern können (Bergmann 1993).

Der B-Gehalt in Eichenblättern nahm – wie aufgrund von Literaturangaben (Amberger 1983) zu erwarten – mit steigenden pH-Werten, Ca_{extr} - und Humus-Gehalten im Boden zu und war zudem negativ mit dem Fe_{extr} -Gehalt im Boden korreliert (Tab. 4.14). Da die überwiegende Zahl der natürlichen Eichenmistel-Standorte saure und Fe-reiche Böden aufwies, ließ sich hierdurch auch erklären, weshalb der mittlere B-Gehalt in Eichenblättern im unteren Optimalbereich lag (Tab. 4.8).

Zu erwähnen ist ferner, daß der Mg-Gehalt der Eichenblätter hoch signifikant und positiv mit dem Cu_{extr} -Gehalt im Boden korreliert war, der Na-Gehalt signifikant und positiv mit dem Zn_{extr} -Gehalt im Boden (Tab. 4.14). Die N-, P-, K-, Ca-, Fe-, Zn-, Cu-, Mo- und Co-Gehalte

in Eichenblättern wiesen dagegen keine signifikanten Beziehungen zu den untersuchten Bodenparametern auf (Tab. 4.14).

Tab. 4.14: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Mineralstoff-Gehalten in Eichenblättern und Bodenparametern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

		Mineralstoffe in Eichenblättern			
		Mg	Mn	B	Na
Bodenparameter	OS	n.s.	-0.49	0.51	n.s.
	pH_{H2O}	n.s.	-0.58	0.71	n.s.
	pH_{KCL}	n.s.	-0.62	0.66	n.s.
	P_{Citr}	n.s.	-0.43	n.s.	n.s.
	K_{DL}	n.s.	-0.43	n.s.	n.s.
	Ca_{extr}	n.s.	-0.58	0.72	n.s.
	Mg_{DL}	n.s.	-0.46	n.s.	n.s.
	Fe_{extr}	n.s.	n.s.	-0.58	n.s.
	Zn_{extr}	n.s.	n.s.	n.s.	0.57
	Cu_{extr}	0.76	n.s.	n.s.	n.s.

Erläuterungen: pH_{H2O}/pH_{KCL} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte. n.s. = nicht signifikant; Gehalte an N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu, Mo und Co ohne signifikante Korrelation mit Bodenparametern.

Abbildung 4.7 verdeutlicht, daß die Mn-Gehalte in Eichenblättern umso höher waren, je niedriger die Ca_{extr}-Gehalte im Boden von natürlichen Eichenmistel-Standorten waren; durch eine potentielle Trendlinie mit $r^2 = 0.52$ wurde die Beziehung besser beschrieben als durch die lineare Korrelation (Tab. 4.14).

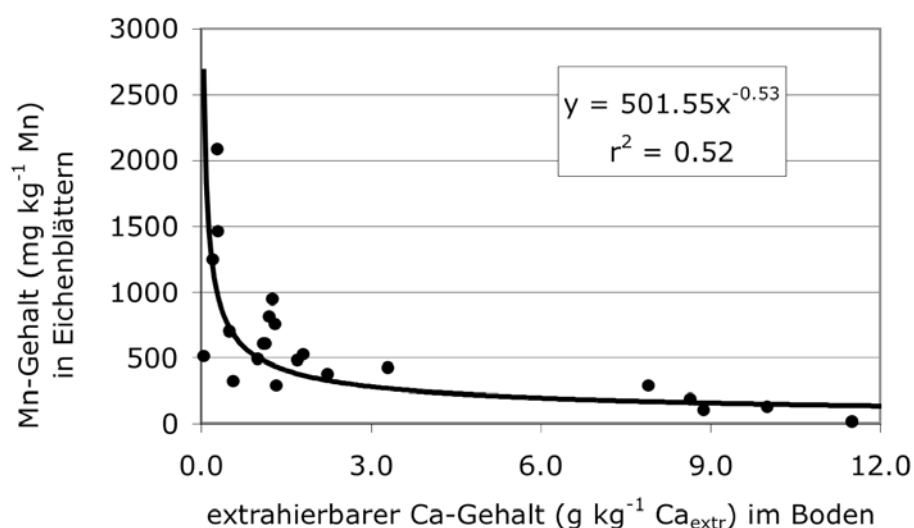


Abb. 4.7: Beziehung zwischen dem Ca_{extr}-Gehalt im Boden und dem Mn-Gehalt in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

In der signifikant negativen Korrelation zwischen dem Mn- und dem B-Gehalt in Eichenblättern (Tab. 4.15) kam deren unterschiedliche Beziehungen zu den prägenden Bodenparametern zum Ausdruck: Die Mn-Aufnahme wurde bei saurer Bodenreaktion gefördert, die B-Aufnahme dagegen bei basischer Bodenreaktion (Tab. 4.14). Zu erwähnen waren ferner signifikant positive Beziehungen des Zn-Gehaltes mit den N-, K- und Fe-Gehalten sowie des Mo-Gehaltes mit den P- und Na-Gehalten in Eichenblättern (Tab. 4.15).

Tab. 4.15: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen den Element-Gehalten in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

		Mineralstoffe in Eichenblättern						
		Mg	Fe	Zn	Cu	B	Mo	Na
Mineralstoffe in Eichenblättern	N	n.s.	n.s.	0.89	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	P	0.50	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.77	0.55
	K	n.s.	0.49	0.65	0.61	n.s.	n.s.	n.s.
	Fe	n.s.	n.s.	0.81	0.65	n.s.	n.s.	n.s.
	Mn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.50	n.s.	n.s.
	Zn	n.s.	n.s.	n.s.	0.64	n.s.	n.s.	n.s.
	Na	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.77	n.s.

4.1.3 Mineralstoffe in Eichenmisteln

Die in Tabelle 4.16 dargestellte deskriptive Statistik für die Mineralstoff-Gehalte in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich zeigt, daß die Konzentration der meisten Mineralstoffe in den Eichenmisteln höher war als in den Eichenblättern (Tab. 4.8). Dies galt insbesondere für K und P, während Fe und Mo in Eichenblättern höher konzentriert waren als in Eichenmisteln. Im Einzelnen nahmen die mittleren Gehalte in Eichenmisteln in der folgenden Reihenfolge ab (Tab. 4.16):

$N > K \gg Ca \gg P > Mg \gg Mn > Na \gg Fe \gg B > Zn > Cu \gg Co \gg Mo$.

Tab. 4.16: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹							
n	14	38	38	44	38	40	44	38	38	38	14	38	14
Minimum	22.7	1.47	14.1	5.37	1.09	53.0	21.0	9.80	9.40	18.2	<0.09	225	<0.09
Maximum	39.3	6.59	49.7	25.3	2.86	173	4200	46.7	28.8	60.0	0.64	2097	4.10
Mittelwert	30.4	3.35	25.0	11.7	1.65	101	865	24.5	15.1	31.7	0.14	768	1.24
CV (%)	17.9	28.3	31.3	35.3	24.6	31.1	96.3	29.9	33.2	28.0	109	66.9	109

Bei der Prüfung auf statistische Sicherheit traten signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Beprobungsjahren insofern auf, als die N-Gehalte in den Proben des Jahres 1988 um 30% höher waren als 1989, während 1988 besonders niedrige K-Gehalte, 1993 dagegen besonders hohe K-Gehalte auftraten (Tab. 4.17).

Tab. 4.17: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt (g kg⁻¹) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Jahr	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
1988	7	34.4 ^a	7	2.96 ^a	7	19.6 ^b	7	11.7 ^a	7	1.80 ^a
1989	7	26.4 ^b	11	3.17 ^a	11	22.9 ^{bc}	11	11.2 ^a	11	1.57 ^a
1990	-	-	9	3.86 ^a	9	22.4 ^b	9	11.9 ^a	9	1.64 ^a
1991	-	-	5	3.55 ^a	5	29.0 ^c	5	10.6 ^a	5	1.53 ^a
1993	-	-	5	3.10 ^a	5	37.6 ^a	5	13.5 ^a	5	1.82 ^a
2003	-	-	-	-	-	-	2	10.8 ^a	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	3	13.5 ^a	-	-

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Ferner waren die Fe-Gehalte 1991 erhöht, 2003 dagegen sehr niedrig. 1989 traten besonders niedrige, 1990 hingegen die höchsten Zn- und Cu-Gehalte auf. Der B-Gehalt war 1993 am höchsten. Die Na-Gehalte waren 1992 und 1993 besonders niedrig, 1990 dagegen am höchsten. Die Co- und Mo-Gehalte lagen 1988 deutlich höher als 1989 (Tab. 4.18).

Tab. 4.18: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Jahr	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
1988	7	95.1 ^b	7	951 ^a	7	25.8 ^{ab}	7	18.2 ^b	7	32.7 ^{ab}	7	0.20 ^a	7	888 ^b	7	2.24 ^a
1989	11	93.9 ^b	11	561 ^a	11	20.5 ^a	11	11.9 ^a	11	29.6 ^a	7	0.09 ^a	11	636 ^b	7	0.23 ^b
1990	9	108 ^{ab}	9	1200 ^a	9	27.9 ^b	9	16.3 ^b	9	28.6 ^a	-	-	9	1037 ^a	-	-
1991	5	138 ^a	5	1369 ^a	5	23.8 ^{ab}	5	16.2 ^{ab}	5	31.8 ^{ab}	-	-	5	870 ^b	-	-
1993	5	82.8 ^b	5	472 ^a	5	26.8 ^{ab}	5	15.2 ^{ab}	5	40.2 ^b	-	-	5	389 ^b	-	-
2003	2	72.0 ^b	2	419 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	3	1239 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Beprobungsmonaten beruhten auf erhöhten P-Gehalten im April und Mg-Gehalten im Juni (Tab. 4.19). Die Zn- und Mo-Gehalte waren im Dezember am höchsten, die Co-Gehalte dagegen im April (Tab. 4.20).

Tab. 4.19: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Monat	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
April	8	32.0 ^a	5	4.11 ^b	5	21.0 ^a	5	12.0 ^a	5	1.36 ^a
Juni	5	26.6 ^a	20	3.15 ^a	20	26.8 ^a	26	11.4 ^a	20	1.78 ^b
Oktober	-	-	9	3.43 ^{ab}	9	24.5 ^a	9	12.6 ^a	9	1.62 ^{ab}
Dezember	-	-	4	3.14 ^{ab}	4	21.9 ^a	4	11.1 ^a	4	1.46 ^{ab}

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. 4.20: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Monat	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
April	5	120 ^a	5	1300 ^a	5	25.3 ^{ab}	5	16.1 ^a	5	31.2 ^a	8	0.12 ^a	5	1473 ^b	8	1.99 ^b
Juni	22	99.1 ^a	26	897 ^a	20	24.8 ^{ab}	20	15.7 ^a	20	33.0 ^a	5	0.09 ^a	20	666 ^a	5	0.20 ^a
Oktober	9	101 ^a	9	567 ^a	9	20.8 ^a	9	13.4 ^a	9	27.7 ^a	-	-	9	637 ^a	-	-
Dezember	4	87.5 ^a	4	777 ^a	4	30.2 ^b	4	14.6 ^a	4	34.5 ^a	-	-	4	687 ^a	-	-

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Keine signifikanten Unterschiede waren im Mineralstoff-Gehalt von Eichenmisteln zwischen natürlichen Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden festzustellen (Tab. A-10, Tab A-11). Das galt wegen großer Streuung auch für Mn, das mit 873 mg kg⁻¹ Mn in Eichenmisteln von Standorten mit sauren Böden um den Faktor 4.5 höher konzentriert war als in Eichenmisteln von Standorten mit basischen Böden (195 mg kg⁻¹).

Bezogen auf die Eichenart traten keine signifikanten Unterschiede im Gehalt an Hauptelementen auf (Tab. A-12). Misteln von *Q. robur* enthielten jedoch fast dreimal so viel Na wie Misteln von *Q. petraea* (Tab. 4.21). Aufgrund der geringen Anzahl Mistelproben von *Q. petraea* kann das Resultat allerdings nicht als repräsentativ eingestuft werden.

Tab. 4.21: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (mg kg⁻¹) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit verschiedenen Eichenarten

Species	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
<i>Q. robur</i>	34	101 ^a	38	863 ^a	32	24.8 ^a	32	15.8 ^a	32	32.0 ^a	14	0.14 [°]	32	848 ^b	14	1.24 [°]
<i>Q. petraea</i>	4	92.3 ^a	4	964 ^a	4	23.5 ^a	4	10.8 ^a	4	28.7 ^a	-	-	4	302 ^a	-	-
Species n.b.	2	116 ^a	2	704 ^a	2	21.6 ^a	2	12.1 ^a	2	32.9 ^a	-	-	2	409 ^{ab}	-	-

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an; Species n.b. = Eichenart nicht bestimmt; ° = für Mo und Co lagen Analysendaten nur von *Q. robur* vor.

Zwischen mistelreichen und mistelarmen Eichenmistel-Standorten ergaben sich signifikante Unterschiede insofern, als Misteln von Saateichen 20% mehr P (Tab. 4.22) und fast doppelt soviel Na (Tab. 4.23) enthielten wie Misteln von Ernteeichen.

Tab. 4.22: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen im Gehalt (g kg⁻¹) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Eichen	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
Ernteeichen	12	30.7 ^a	25	3.14 ^a	25	24.7 ^a	30	11.7 ^a	25	1.69 ^a
Saateichen	2	28.7 ^a	12	3.89 ^b	12	25.7 ^a	13	11.8 ^a	12	1.55 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Tab. 4.23: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen im Gehalt (mg kg⁻¹) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Eichen	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
Ernteeichen	28	94.9 ^a	30	766 ^a	25	24.3 ^a	25	14.7 ^a	25	32.9 ^a	12	0.15 ^a	25	0.60 ^a	12	1.43 ^a
Saateichen	12	115 ^a	13	974 ^a	12	25.4 ^a	12	15.4 ^a	12	29.0 ^a	2	0.09 ^a	12	1.15 ^b	2	0.09 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Die Matrix für signifikante lineare Korrelationen zwischen den Mineralstoff-Gehalten in Eichenmisteln und den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte (Tab. 4.24) beruht auf den im Juni beprobten Eichenmisteln. Diese wiesen nicht nur den größten Probenumfang auf (Tab. 4.24), sondern zeigten auch deutlich mehr signifikante lineare Beziehungen mit Bodenparametern sowie höhere Korrelations-Koeffizienten als im April- bzw. Oktober beprobte Eichenmisteln (Tab. A-13). Eine denkbare Ursache hierfür ist, daß Eichenmisteln ab August die Vorjahresblätter verloren, weshalb die Oktober-, Dezember- und April-Proben geringere Blattanteile hatten als die Juni-Proben mit zwei Blattgenerationen. Allerdings waren aufgrund der geringen Probenzahl im April ($n = 5$), Oktober ($n = 9$) und Dezember ($n = 1$) andere, zum Beispiel durch die Bodenreaktion auf den beprobten Standorten oder die Genetik der Eichen bedingte Ursachen nicht auszuschließen.

Die meisten Beziehungen mit Bodenparametern wiesen die Elemente Mn und Fe auf, deren Gehalte in den im Juni beprobten Eichenmisteln signifikant negativ mit den pH_{KCl} - und $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Werten sowie den Ca_{extr} -Gehalten korrelierten. Die Mn-Gehalte in Eichenmisteln waren zudem signifikant negativ mit den $\text{P}_{\text{Cit-}}$, K_{DL} - und Mg_{DL} -Gehalten im Boden korreliert, die Fe-Gehalte in Eichenmisteln außerdem signifikant positiv mit den Cu_{extr} -Gehalten im Boden (Tab. 4.24). In den April-Proben fiel im Vergleich dazu die enge positive Korrelation der Ca-Gehalte in Eichenmisteln mit den pH_{KCl} - bzw. $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Werten sowie den Ca_{extr} - und K_{DL} -Gehalten im Boden auf, während die Mn-Gehalte in Eichenmisteln weder im April noch im Oktober mit Bodenparametern korrelierten (Tab. A-13).

Tab. 4.24: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Mineralstoffen in Eichenmisteln sowie Bodenparametern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

		Mineralstoffe in Eichenmisteln					
		K	Ca	Fe	Mn	B	Na
Bodenparameter	OS	n.s.	n.s.	n.s.	-0.46	n.s.	n.s.
	pH _{H2O}	n.s.	0.46	-0.51	-0.57	0.47	n.s.
	pH _{KCL}	n.s.	0.44	-0.54	-0.57	n.s.	n.s.
	P _{Citr}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.51	n.s.
	K _{DL}	n.s.	n.s.	n.s.	-0.48	n.s.	n.s.
	Ca _{extr}	n.s.	n.s.	-0.46	-0.54	n.s.	n.s.
	Mg _{DL}	n.s.	n.s.	n.s.	-0.52	n.s.	n.s.
	Fe _{extr}	-0.51	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Zn _{extr}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.66
	Cu _{extr}	n.s.	n.s.	0.53	n.s.	n.s.	n.s.

Erläuterungen: pH_{H2O}/pH_{KCL} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte; n.s. = nicht signifikant; N-, P-, Mg-, Zn-, Cu-, Mo- und Co-Gehalte in Eichenmisteln ohne signifikante Korrelation mit Bodenparametern.

Bei pH_{KCL}-Werten im Boden unter 5.5 und Mn-Gehalten in Eichenblättern über 700 mg kg⁻¹ traten die höchsten Mn-Gehalte (> 700 mg kg⁻¹) in Eichenmisteln auf (Abb. 4.8).

Mn-Gehalt (mg kg⁻¹ Mn) in Eichenmisteln

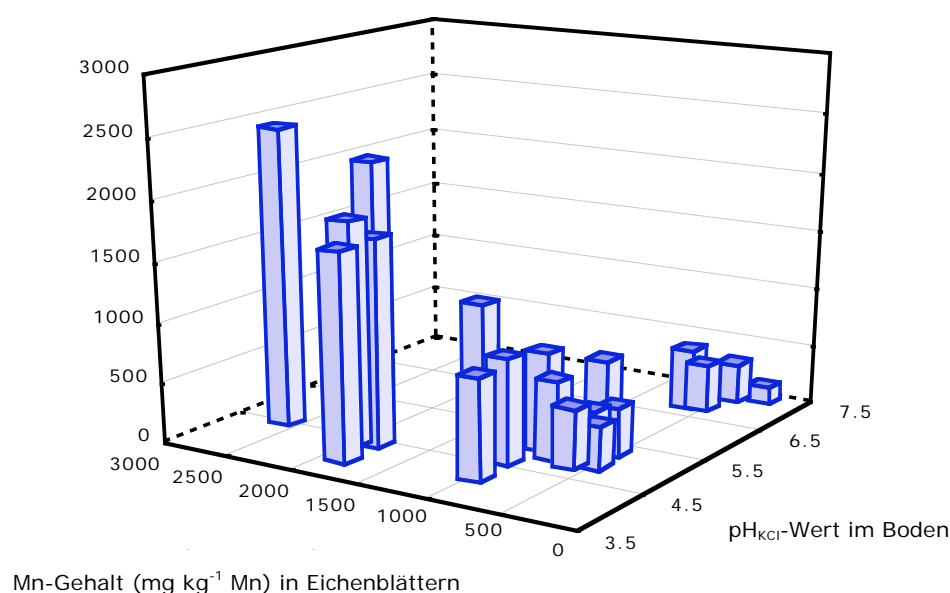


Abb. 4.8: Beziehung zwischen dem pH_{KCL} im Boden, dem Mn-Gehalt in Eichenblättern und dem Mn-Gehalt in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

4.1.4 Mineralstoff-Anreicherung in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern

Mehrere Autoren (Lamont und Southhall 1982, Glatzel 1983, Ehleringer und Schulze 1985, Panvini und Eickmeier 1993, Goedings 1995, Karunaichamy et al. 1999, Bannister et al. 2002) haben das Verhältnis der Element-Konzentrationen in Mistel und Wirt bei Werten über 1 (entsprechend 100%) als Anreicherung interpretiert. Dieser Berechnungsart folgend waren in den im Juni beprobten Eichenmisteln die Gehalte an N, P, K, Ca, Cu, B und Na signifikant gegenüber den Gehalten in Eichenblättern (= 100%) erhöht (Tab. 4.25). Die Elemente K (305%) und Co (310 %) wurden am stärksten in die Eichenmistel verlagert, gefolgt von Na (209%) und P (204%). Im Vergleich dazu wiesen Fe (77%) und Mo (83%) in Eichenmisteln niedrigere Gehalte auf als in Eichenblättern (Tab. 4.25).

Tab. 4.25: Verlagerung (%) von Mineralstoffen in Eichenmisteln, vergleichen mit Eichenblättern (=100%) von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni und Signifikanz der Unterschiede

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	8	17	18	23	17	19	23	17	17	17	8	17	8
Minimum	98.9	134	160	90.7	67.1	28.1	68.9	45.7	47.6	76.5	42.9	73.0	10.5
Maximum	181	285	638	302	180	137	335	187	178	222	120	479	692
Mittelwert	130	204	305	155	122	76.5	162	112	127	143	83.2	209	310
CV (%)	24.9	20.5	37.7	33.0	26.2	45.5	44.3	33.6	24.1	28.5	31.8	42.4	86.1
Signifikanz	**	***	***	***	n.s.	**	n.s.	n.s.	*	**	n.s.	**	n.s.

Erläuterungen: Verlagerung (%) = [Element-Gehalt in Eichenmistel * 100] * [Element-Gehalt in Eichenblatt]⁻¹; Signifikanz: bezieht sich auf Unterschiede zwischen Element-Gehalten in Eichenmisteln und Eichenblättern: * = schwach signifikant (p < 0.05), ** = signifikant (p < 0.01), *** hoch signifikant (p < 0.001), n.s. = nicht signifikant.

Der Mn-Gehalt in Eichenmisteln war zwar um den Faktor 1.6 höher als in Eichenblättern, der Unterschied war jedoch nicht signifikant (Tab. 4.25). Dagegen ließ sich die Mn-Verlagerung in der Eichenmistel signifikant positiv mit dem Mn_{extr}-Gehalt im Boden korrelieren (Tab. 4.26). Dies war insofern erstaunlich, als die Mn-Gehalte in Eichenmisteln (Tab. 4.24) und Eichenblättern (Tab. 4.14) nicht mit dem Mn_{extr}-Gehalt im Boden korrelierten.

Auffallend waren ferner die signifikant positive Korrelation der Na-Verlagerung mit dem Zn_{extr}-Gehalt im Boden und die Abhängigkeit der Mo-Anreicherung vom pH_{H2O}-Wert im Boden (Tab. 4.26).

Tab. 4.26: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen den Bodenparametern und der Mineralstoff-Verlagerung in die Eichenmistel, verglichen mit Eichenblättern (=100%), auf natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

		Verlagerung in die Eichenmistel (%)			
		Mg	Na	Mn	Mo
Boden- parameter	pH _{H2O}	n.s.	n.s.	n.s.	0.72
	Mn _{extr} (mg kg ⁻¹)	n.s.	n.s.	0.55	n.s.
	Zn _{extr} (mg kg ⁻¹)	n.s.	0.54	n.s.	n.s.
	Cu _{extr} (mg kg ⁻¹)	-0.60	n.s.	n.s.	n.s.

Erläuterungen: Verlagerung berechnet als Quotient der Mineralstoff-Konzentration in Mistel und Wirt; pH_{H2O} = in H₂O-Extrakt gemessener pH-Wert; [Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte im Boden; Anreicherung von N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, B, Mo und Co in Eichenmisteln ohne signifikante Korrelation mit Bodenparametern.

Die begrenzte Fe-Verlagerung ($p < 0.01$) in die Eichenmistel (Tab. 4.25) war nicht mit Bodenparametern (Tab. 4.26), aber signifikant negativ mit dem Fe-Gehalt in Eichenblättern korreliert (Tab. 4.27). Auf Standorten mit Gehalten unter 100 mg kg⁻¹ Fe in Eichenblättern wurde Fe von Eichenmisteln verstärkt aufgenommen, auf Standorten, wo Eichenblätter mehr als 100 mg kg⁻¹ Fe enthielten, wurde Fe dagegen nur begrenzt in die Eichenmistel verlagert (Abb. 4.9). Daraus ließ sich schließen, daß Eichenmisteln Fe kontrolliert aufnehmen und in den zweijährigen Sproßorganen mittlere Gehalte von etwa 100 mg kg⁻¹ Fe einstellen.

Tab. 4.27: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen der Verlagerung von Mineralstoffen in die Eichenmistel und den Mineralstoff-Gehalten in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

		Verlagerung von Mineralstoffen in die Eichenmistel										
		N	P	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	Co
Mineralstoff-gehalt in Eichenblättern	N (mg g ⁻¹)	-0.71	n.s.	-0.75	n.s.	n.s.	-0.86	-0.78	n.s.	-0.72	-0.72	n.s.
	P (mg g ⁻¹)	n.s.	n.s.	-0.56	-0.66	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	K (mg g ⁻¹)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.67	n.s.	n.s.	n.s.
	Ca (mg g ⁻¹)	n.s.	n.s.	-0.56	n.s.	n.s.	-0.49	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Mg (mg g ⁻¹)	n.s.	n.s.	n.s.	-0.68	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Fe (mg kg ⁻¹)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.84	n.s.	-0.64	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Zn (mg kg ⁻¹)	-0.77	n.s.	n.s.	n.s.	-0.68	n.s.	-0.85	-0.72	n.s.	n.s.	n.s.
	Cu (mg kg ⁻¹)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.67	n.s.	n.s.	-0.73	n.s.	n.s.	n.s.
	B (mg kg ⁻¹)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.90
	Na (mg kg ⁻¹)	n.s.	-0.54	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.49	n.s.

Erläuterung: Anreicherung als Quotient der Mineralstoff-Konzentration in Mistel und Wirt berechnet.

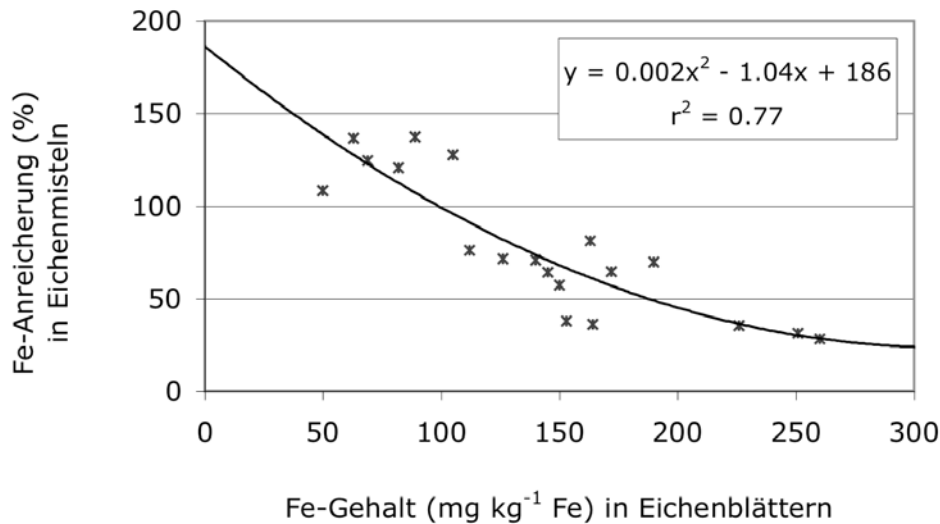


Abb. 4.9: Beziehung zwischen dem Fe-Gehalt in Eichenblättern und der Fe-Verlagerung in Eichenmisteln, verglichen mit Eichenblättern (=100%), von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Auf vergleichbare selektive Aufnahmemechanismen ließen auch die signifikant negativen Korrelationen zwischen der Verlagerung von N, Ca, Mg, Zn und Cu in Eichenmisteln sowie den entsprechenden Element-Gehalten in Eichenblättern schließen (Tab. 4.27).

Auffallend war ferner die schwache, aber signifikant positive Korrelation zwischen der Na-Verlagerung in die Eichenmistel und dem Na-Gehalt in Eichenblättern (Tab. 4.27). Na wurde offensichtlich umso stärker in die Eichenmistel verlagert, je höher die Na-Gehalte in Eichenblättern waren. Dies war umso erstaunlicher, als die Na-Verlagerung in die Eichenmistel (Tab. 4.26) wie auch die Na-Gehalte in Eichenblättern (Tab. 4.14) und Eichenmisteln (Tab. 4.24) signifikant mit dem Zn_{extr} -Gehalt im Boden korrelierten.

Panvini und Eickmeier (1993) ermittelten in *Phoradendron leucarpum* die Verlagerung von Mineralstoffen zusätzlich in der Art, daß sie die jeweiligen Element-Gehalte in Mistel und Wirt nach folgender Formel auf den jeweiligen Ca-Gehalt bezogen:

$$\text{Ca-abhängige Verlagerung (\%)} = \frac{[\text{Element-Gehalt der Mistel} * \text{Ca-Gehalt der Mistel}^{-1}] * 100}{[\text{Element-Gehalt im Wirt} * \text{Ca-Gehalt im Wirt}^{-1}]}$$

Ca als im Phloem nicht mobiles Element wurde dabei als Referenz für die vom Xylem abhängige Element-Konzentration in der Mistel angenommen, worauf bezogen die Gehalte

von im Phloem mobilen Elementen die Fähigkeit zur Anreicherung durch die Mistel ausdrücken (Panvini und Eickmeier 1993).

Die im Juni beprobten Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten reicherten nach dieser Art der Berechnung K am stärksten an, gefolgt von Co sowie Na und P, während die Verlagerung von Fe und Mo in die Eichenmistel wiederum am stärksten unterdrückt wurde (Abb. 4.10; Tab. A-14). Die Werte für die Ca-abhängige Verlagerung waren um etwa 33% niedriger als die Werte der auf Element-Konzentrationen bezogenen Verlagerung; der Unterschied entsprach dem Kehrwert der auf die Konzentration in Wirt und Mistel bezogenen Ca-Verlagerung (Tab. 4.25).

Außer Fe und Mo wiesen zwar alle untersuchten Mineralstoffe in den Eichenmisteln höhere Konzentrationen auf als in den Eichenblättern (Tab. 4.8, Tab. 4.16); bezogen auf den Ca-Gehalt konnte jedoch nur für K, P, Na und Co von Anreicherung gesprochen werden. Mn und B wurden etwa gleich stark wie Ca in die Eichenmistel verlagert, und für N, Mg, Zn und Cu lag eine geringere Aufnahme in die Eichenmistel vor als für Ca, wie Werte unter 100% in Abbildung 4.10 und Tabelle A-14 zum Ausdruck bringen.

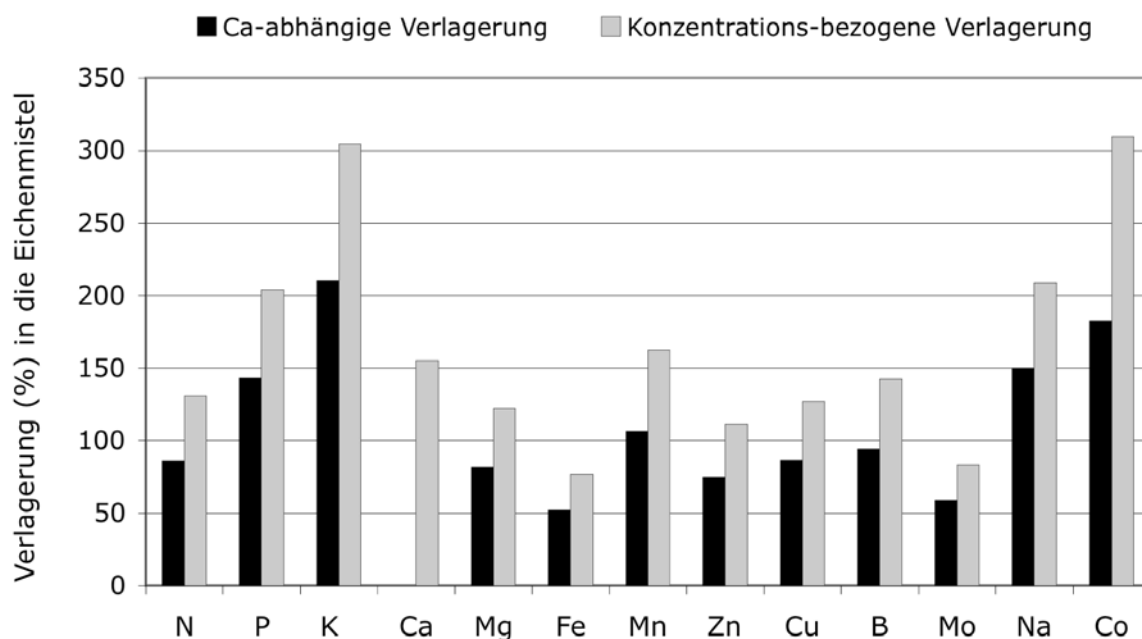


Abb. 4.10: Verlagerung (%) von Mineralstoffen in die Eichenmisteln, verglichen mit dem Gehalt in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

Erläuterungen: Konzentrations-bezogene Verlagerung berechnet als Quotient der Mineralstoff-Konzentration in Mistel und Wirt; Ca-abhängige Verlagerung berechnet als Verhältnis der Quotienten von Mineralstoff-Konzentration und Ca-Konzentration in Mistel und Wirt.

4.2 Kultivierte Eichenmistel-Standorte

In diesem Kapitel soll geprüft werden, wie sich kultivierte und natürliche Eichenmistel-Standorte hinsichtlich der Bodenparameter sowie der Mineralstoff-Gehalte in Blättern und Misteln von Eichen unterscheiden.

Die Eichenmistel-Kultivierung wurde 1975 begonnen, ohne zu diesem Zeitpunkt Bodenparameter zu berücksichtigen. Zwei kleine Siedlungs-Standorte mit basischen Böden (Tab. A-25) wurden als Baumschule für die Anzucht und Selektion mistelempfänglicher Eichen genutzt, und im nördlichen Vorjura wurden auf einer an einen Wald grenzenden Wiese veredelte, später auch verschulte Eichen gepflanzt. In den folgenden Jahren wurden bis 1990 die kultivierten Flächen bedarfsweise erweitert. 1990 wurde die Baumschulanzucht eingestellt, so daß keine Erweiterung der kultivierten Flächen mehr nötig war. Insgesamt wurden zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Arbeit auf 11 Standorten mit insgesamt 10.2 Hektar junge Eichen im Hinblick auf die Mistelproduktion kultiviert. In Tabelle A-15a im Anhang finden sich allgemeine Merkmale der kultivierten Eichenmistel-Standorte, in Tabelle A-15b die detaillierten Bodenparameter.

4.2.1 Bodenanalysen

Von den großflächigen Standorten *Höfli* und *Rotenburg* sowie dem Standort *Rösli* lagen mehrere Bodenanalysen vor, aus denen für generelle Standortansprachen sowie den Vergleich mit den Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte jeweils die Mittelwerte ermittelt wurden. Die deskriptive Statistik für mittlere Bodenparameter kultivierter Eichenmistel-Standorte zeigt, daß die ermittelten Werte weitgehend den von Balzer (2002) angegebenen Richtwerten für Grünlandböden (Tab. 3.5) entsprachen. Einzig die Humus-, Mg_{extr} - und Fe_{extr} -Gehalte waren leicht erhöht, die P_{Citr} -Gehalte dagegen etwas niedriger.

Tab. 4.28: Deskriptive Statistik für Bodenparameter kultivierter Eichenmistel-Standorte

Variable	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
	%			g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
n	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Minimum	1.6	5.8	4.7	0.007	0.025	0.400	0.100	1.00	3.00	1.00	0.2
Maximum	9.0	7.9	7.0	0.125	0.091	15.5	0.790	444	136	37.0	4.6
Mittelwert	5.8	7.0	6.0	0.051	0.054	0.722	0.257	140	48.9	9.90	1.6
CV (%)	47.5	11.4	14.8	67.1	41.3	82.3	80.0	118	86.5	117	84.4

Erläuterungen: pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbares P, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

Beim Vergleich der Bodenparameter kultivierter und natürlicher Eichenmistel-Standorte (Tab. 4.29) traten signifikante Unterschiede im pH-Wert sowie im Ca_{extr} - und Mg_{DL} -Gehalt auf: Der mittlere Ca_{extr} -Gehalt war im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte um den Faktor 2.6 gegenüber natürlichen Standorten erhöht. Die $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ - bzw. pH_{KCl} -Werte waren etwa eine Einheit höher, der Mg_{DL} -Gehalt war um den Faktor 1.5 erhöht. Die Böden kultivierter Standorte enthielten 1% mehr Humus und um den Faktor 1.6 erhöhte P_{Citr} -Gehalte als die Böden natürlicher Standorte. Die K_{DL} -, Mn_{extr} -, Fe_{extr} - und Zn_{extr} -Gehalte waren dagegen in den Böden kultivierter Standorte tendenziell, aber nicht signifikant niedriger als in den Böden natürlicher Standorte (Tab. 4.29).

Tab. 4.29: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Bodenparametern kultivierter bzw. natürlicher Eichenmistel-Standorte

Standorte	n	OS	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	pH_{KCl}	P_{Citr}	K_{DL}	Ca_{extr}	Mg_{DL}	Fe_{extr}	Mn_{extr}	Zn_{extr}	Cu_{extr}
		%			g kg^{-1}				mg kg^{-1}			
natürlich	65	4.8 ^a	5.9 ^a	5.0 ^a	0.032 ^a	0.078 ^a	2.73 ^a	0.171 ^a	192 ^a	90.6 ^a	12.4 ^a	1.50 ^a
kultiviert	11	5.8 ^a	7.0 ^b	6.0 ^b	0.051 ^a	0.054 ^a	7.23 ^b	0.257 ^b	140 ^a	48.9 ^a	9.90 ^a	1.60 ^a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{pH}_{\text{KCl}}$ = im H_2O - bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; $[\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Zn}, \text{Cu}]_{\text{extr}}$ = mit $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, $[\text{K}, \text{Mg}]_{\text{DL}}$ = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

Kultivierte Eichenmistel-Standorte ($n=5$) mit basischen Böden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > 7.0$) hatten signifikant höhere Ca_{extr} - und Humus-Gehalte sowie signifikant niedrigere Mg_{DL} -, Fe_{extr} - und Cu_{extr} -Gehalte als kultivierte Eichenmistel-Standorte ($n=6$) mit sauren Böden (Tab. 4.30).

Natürliche Eichenmistel-Standorte mit sauren Böden wiesen signifikant niedrigere pH-Werte und Mg_{DL} -Gehalte sowie höhere Cu_{extr} -Gehalte auf als kultivierte Standorte mit sauren Böden (Tab. 4.30).

Die Fe_{extr} - und Mn_{extr} -Gehalte waren auf kultivierten Eichenmistel-Standorten mit basischen Böden im Vergleich zu natürlichen Standorten mit basischen Böden auffallend niedrig, zeigten auf natürlichen und kultivierten Standorten mit sauren Böden dagegen Gehalte in jeweils ähnlicher Größenordnung (Tab. 4.30).

Tab. 4.30: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede in den Bodenparametern zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden

Standort	n	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
		%			g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
Kultur _{basisch}	5	8.1 ^c	7.7 ^b	7.0 ^b	0.065 ^a	0.055 ^a	13.2 ^c	0.171 ^a	1.20 ^b	15.8 ^b	1.60 ^a	0.50 ^b
Kultur _{sauer}	6	4.0 ^a	6.3 ^c	5.3 ^c	0.039 ^a	0.053 ^a	2.29 ^a	0.329 ^b	256 ^a	76.5 ^{ab}	16.9 ^a	2.46 ^c
Natur _{basisch}	13	6.1 ^b	7.5 ^b	6.8 ^b	0.039 ^a	0.081 ^a	9.26 ^b	0.202 ^a	36.8 ^b	104 ^a	10.4 ^a	1.03 ^b
Natur _{sauer}	52	4.5 ^a	5.5 ^a	4.5 ^a	0.030 ^a	0.078 ^a	1.10 ^a	0.163 ^a	231 ^a	87.2 ^a	13.0 ^a	1.68 ^a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- und Mg-Gehalte.

Die Korrelationsmatrix für signifikante lineare Beziehungen zwischen den Bodenparametern kultivierter Eichenmistel-Standorte zeigt, daß die pH_{KCl/H2O}-Werte, der Ca_{extr}-Gehalt und der Humus-Gehalt untereinander positiv korreliert waren (Tab. 4.31). Negative Korrelationen wiesen die pH_{KCl/H2O}-Werte und der Ca_{extr}-Gehalt mit den Mn_{extr}-, Fe_{extr}- und Cu_{extr}-Gehalten auf. Positiv mit dem Mn_{extr}- und Fe_{extr}-Gehalt in Beziehung stand der Mg_{DL}-Gehalt (Tab. 4.31).

Tab. 4.31: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen den Bodenparametern kultivierter Eichenmistel-Standorte (n=11)

	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Ca _{extr}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Cu _{extr}
OS	0.80	0.84	0.89	-0.84	n.s.	n.s.
pH _{H2O}	n.s.	0.99	0.95	-0.84	-0.73	-0.82
pH _{KCl}	n.s.	n.s.	0.97	-0.89	-0.71	-0.78
Ca _{extr}	n.s.	n.s.	n.s.	-0.88	-0.76	-0.74
Mg _{DL}	n.s.	n.s.	n.s.	0.70	0.76	n.s.
Mn _{extr}	n.s.	n.s.	n.s.	0.72	n.s.	0.73

Erläuterungen: pH_{H2O}/pH_{KCl} = in H₂O- bzw. KCl (0.1n)-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; Mg_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare Mg-Gehalte.

In den folgenden Abbildungen veranschaulichen die Beziehungen des pH_{KCl}-Wertes mit dem Ca_{extr}-Gehalt (Abb. 4.11), dem Fe_{extr}-Gehalt (Abb. 4.12) und dem Mn_{extr}-Gehalt (Abb. 4.13) im Boden die Gruppierung der kultivierten Eichenmistel-Standorte nach Böden mit basischer und saurer Reaktion.

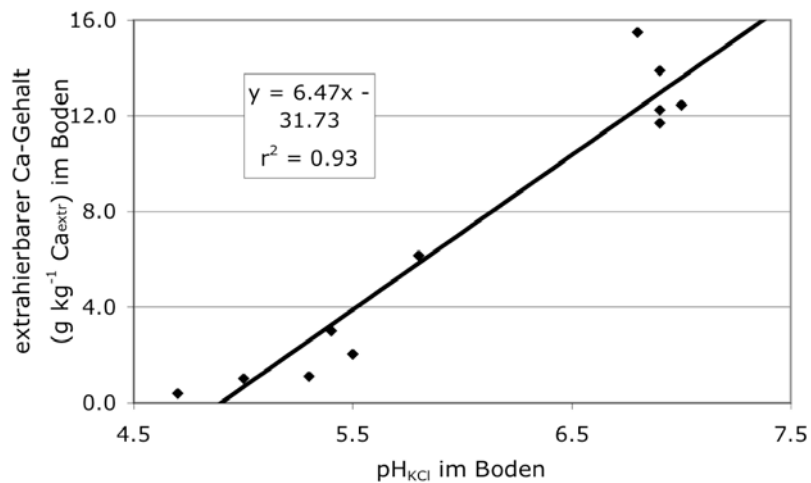


Abb. 4.11: Beziehung zwischen dem Ca_{extr}-Gehalt und dem pH_{KCl}-Wert im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte

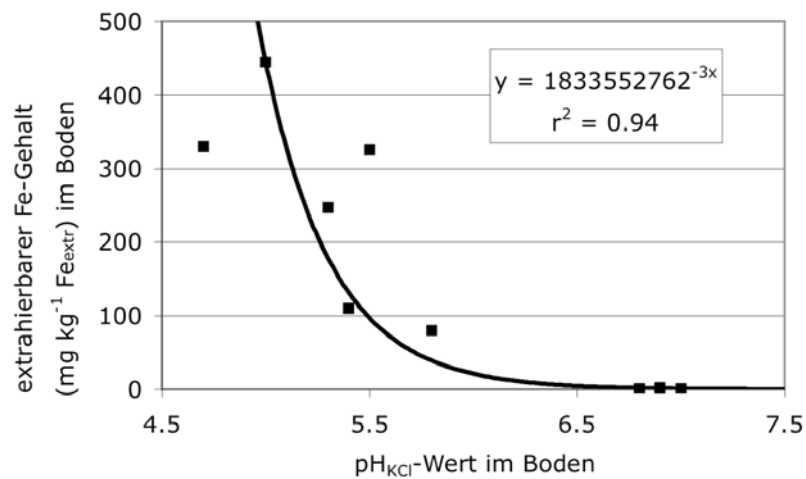


Abb. 4.12: Beziehung zwischen dem pH_{KCl} und dem Fe_{extr}-Gehalt im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte

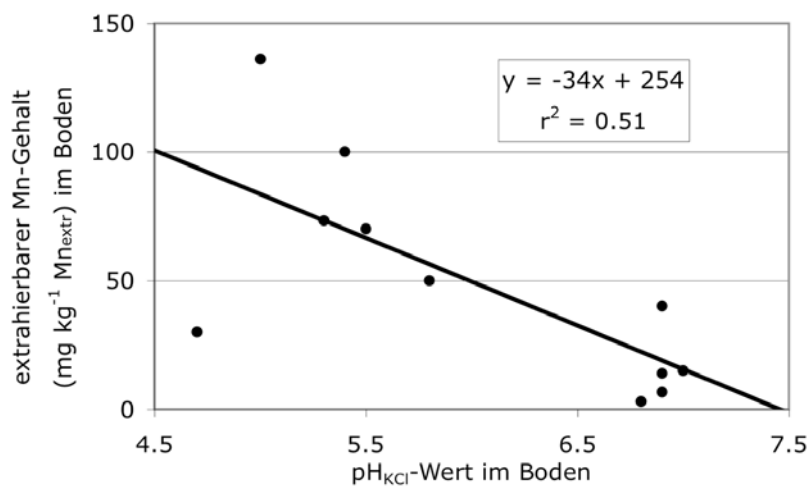


Abb. 4.13: Beziehung zwischen dem pH_{KCl} und dem Mn_{extr}-Gehalt im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte

4.2.2 Mineralstoffe in Eichenblättern

Tabelle 4.32 zeigt die deskriptive Statistik für Mineralstoffe in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten. Für vier mehrfach beprobte Standorte wurden jeweils Mittelwerte berechnet (Tab. A-16), um die Mineralstoff-Gehalte in Eichenblättern von kultivierten und natürlichen Eichenmistel-Standorten sachgemäß vergleichen zu können.

Tab. 4.32: Deskriptive Statistik für die Gehalte an Mineralstoffen in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹							
n	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5
Minimum	23.4	1.09	5.00	9.22	1.23	61.3	17.9	15.6	7.35	18.3	<0.090	223	<0.090
Maximum	28.4	3.09	8.93	21.8	3.57	124	1012	39.3	11.4	44.9	0.200	311	0.630
Mittelwert	25.9	1.70	7.30	13.8	1.90	93.9	374	22.8	9.85	35.2	0.120	284	0.290
CV (%)	9.1	43.3	18.7	35.4	44.5	27.2	93.5	37.5	15.5	28.2	36.9	11.4	77.9

Bei der Prüfung auf statistische Sicherheit mit Bezug auf das Beprobungsjahr waren die Cu- und Co-Gehalte 1988 signifikant höher als 1989 (Tab. A-17).

Unterschiede zwischen den Beprobungsmonaten traten insofern auf, als im Oktober der K-Gehalt höher war als im Juni (Tab. 4.33), der Cu-Gehalt dagegen niedriger (Tab. 4.34).

Tab. 4.33: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (g kg⁻¹) an Hauptelementen in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Monat	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
Juni	5	24.4 ^a	5	1.27 ^a	5	5.33 ^a	5	10.8 ^a	5	1.74 ^a
Oktober	9	25.0 ^a	11	1.65 ^a	11	7.77 ^b	11	12.9 ^a	11	1.76 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Tab. 4.34: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen den Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg⁻¹) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Monat	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
Juni	5	75.2 ^a	5	179 ^a	5	17.1 ^a	5	11.8 ^a	5	30.5 ^a	5	<0.090 ^a	5	305 ^a	5	0.510 ^a
Oktober	11	101 ^a	11	536 ^a	11	21.3 ^a	11	8.60 ^b	11	34.4 ^a	9	0.130 ^a	11	275 ^a	9	0.230 ^a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Zwischen kultivierten Eichenmistel-Standorten mit sauren und basischen Böden gab es im Gehalt an Hauptelementen keine signifikanten Unterschiede (Tab. 4.35). Im Vergleich mit entsprechend gruppierten natürlichen Eichenmistel-Standorten enthielten Eichenblätter von kultivierten Standorten mit basischen Böden jedoch signifikant mehr Ca als Eichenblätter von natürlichen Standorten mit sauren Böden. Die N-, P-, K- und Mg-Gehalte in den Eichenblättern zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen kultivierten und natürlichen Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden (Tab. 4.35).

Tab. 4.35: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenblättern von kultivierten und natürlichen Eichenmistel-Standorten mit basischen und sauren Böden

Standort	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
Kultur _{basisch}	5	25.7 ^a	7	1.35 ^a	7	5.79 ^a	7	15.4 ^b	7	1.73 ^a
Kultur _{sauer}	9	24.3 ^a	9	1.73 ^a	9	7.54 ^a	9	10.8 ^{ab}	9	1.81 ^a
Natur _{basisch}	3	24.4 ^a	6	1.52 ^a	6	7.22 ^a	6	9.32 ^{ab}	6	1.44 ^a
Natur _{sauer}	9	23.3 ^a	15	1.43 ^a	15	7.41 ^a	20	9.07 ^a	15	1.36 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Mn war in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten mit sauren Böden deutlich höher konzentriert als von kultivierten Standorten mit basischen Böden; B zeigte dagegen auf basischen Böden höhere Gehalte als auf sauren Böden (Tab. 4.36).

In Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren Böden war der Fe-Gehalt höher als von kultivierten Standorten mit basischen Böden. Der Mn-Gehalt in Eichenblättern von natürlichen und kultivierten Standorten mit sauren Böden war signifikant höher als von kultivierten Standorten mit basischen Böden (Tab. 4.36).

Tab. 4.36: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von kultivierten bzw. natürlichen Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden

Standort	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
Kultur _{basisch}	7	65.8 ^a	7	39.0 ^b	7	18.8 ^a	7	10.5 ^a	7	44.1 ^b	5	0.11 ^a	7	303 ^{ab}	5	0.33 ^{ab}
Kultur _{sauer}	9	113 ^{ab}	9	673 ^a	9	20.6 ^a	9	9.33 ^a	9	27.6 ^a	9	0.12 ^a	9	277 ^a	9	0.33 ^a
Natur _{basisch}	6	124 ^{ab}	6	265 ^{ab}	6	19.9 ^a	6	11.1 ^a	6	28.9 ^{ab}	3	0.14 ^a	6	379 ^{ab}	3	0.63 ^{ab}
Natur _{sauer}	17	175 ^b	20	570 ^a	15	18.7 ^a	15	11.5 ^a	15	24.0 ^a	9	0.24 ^a	15	376 ^b	9	0.83 ^b

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Der B-Gehalt war in Eichenblättern von kultivierten Standorten mit basischen Böden höher als von natürlichen und kultivierten Standorten mit sauren Böden. Co war auf natürlichen Standorten mit sauren Böden höher konzentriert als auf kultivierten Standorten mit basischen Böden. Die Zn-, Cu-, und Mo-Gehalte zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den betreffenden Standortgruppen (Tab. 4.36).

Unter den Hauptelementen wiesen vor allem die P-Gehalte und in schwächerem Maße die K-Gehalte in Eichenblättern signifikante lineare Korrelationen mit den Bodenparametern kultivierter Eichenmistel-Standorte auf. Deutlich stärker ausgeprägt waren die Korrelationen zwischen den Spurenelement-Gehalten in Eichenblättern und den Bodenparametern. Dabei fielen insbesondere die negativen Beziehungen der Mn- und Fe-Gehalte in Eichenblättern mit den $\text{pH}_{\text{KCl/H}_2\text{O}}$ -Werten und dem Ca_{extr} - sowie dem Humus-Gehalt im Boden auf. Positive Beziehungen bestanden ferner zwischen dem Mn- und Fe-Gehalt in Eichenblättern und den Mn_{extr} - und Fe_{extr} -Gehalten im Boden (Tab. 4.37).

Tab. 4.37: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Korrelationen zwischen den Mineralstoff-Gehalten in Eichenblättern und Bodenparametern von kultivierten Eichenmistel-Standorten

		Mineralstoff-Gehalte in Eichenblättern						
		P	K	Fe	Mn	Cu	B	Co
Bodenparameter	OS	-0.51	-0.56	-0.53	-0.72	0.51	0.56	n.s.
	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	n.s.	n.s.	-0.78	-0.78	n.s.	n.s.	n.s.
	pH_{KCl}	n.s.	n.s.	-0.78	-0.79	n.s.	n.s.	n.s.
	P_{Citr}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.51	n.s.	-0.71
	Ca_{extr}	n.s.	n.s.	-0.69	-0.71	n.s.	n.s.	n.s.
	Mg_{DL}	0.51	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Fe_{extr}	n.s.	n.s.	0.57	0.67	n.s.	n.s.	n.s.
	Mn_{extr}	0.66	n.s.	0.64	0.58	n.s.	n.s.	n.s.
	Cu_{extr}	0.81	n.s.	0.58	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Erläuterungen: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{pH}_{\text{KCl}}$ = im H_2O - bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; $[\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Zn}, \text{Cu}]_{\text{extr}}$ = mit $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbare P-Gehalte, Mg_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare Mg-Gehalte.

Der Mn-Gehalt in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten war umso höher, je niedriger der pH_{KCl} -Wert im Boden war (Abb. 4.14). Auffallend war, daß in einer Eichenblattprobe vom Standort *Courcelon*, der einen hohen pH_{KCl} -Wert von 7.0 im Boden aufwies (Tab. A-15b), ein Mn-Gehalt von 490 mg kg^{-1} auftrat (Tab. A-16), während auf

anderen Standorten mit basischer ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) Bodenreaktion die Mn-Gehalte in den Eichenblättern unterhalb des Grenzwertes für latenten Mangel ($50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}$) lagen.

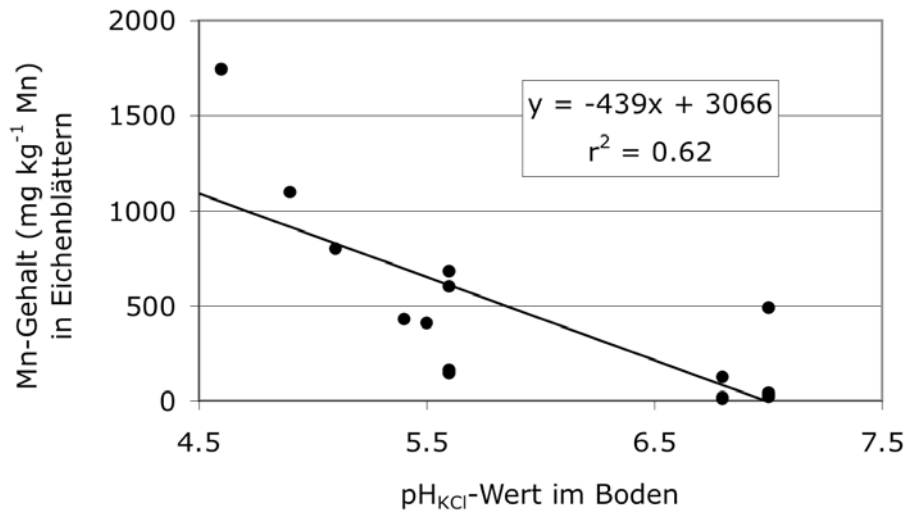


Abb. 4.14: Beziehung zwischen dem pH_{KCl} im Boden und dem Mn-Gehalt in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Der Fe-Gehalt in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten lag umso höher, je weniger extrahierbares Ca_{extr} der Boden enthielt (Abb. 4.15). Nur in einem Fall trat dabei ein Wert unter $50 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Fe}$ auf.

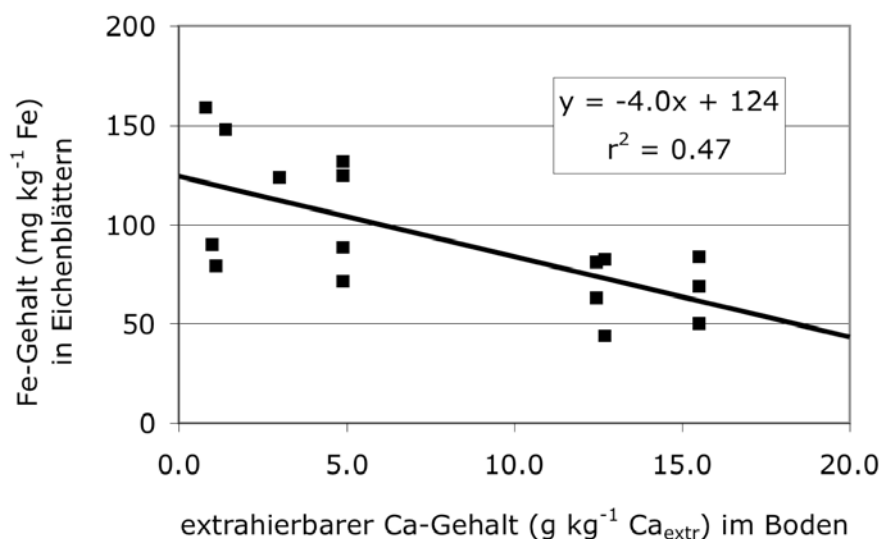


Abb. 4.15: Beziehung zwischen dem Ca_{extr} -Gehalt im Boden und dem Fe-Gehalt in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten

4.2.3 Mineralstoffe in Eichenmisteln

Tabelle 4.38 zeigt die deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten. Für mehrfach beprobte Standorte wurden jeweils die Mittelwerte berechnet (Tab. A-18). Gesondert wurden die Daten vom Teilstandort *Disli-oben* behandelt, der sich vom basischen Standort *Disli* durch eine saure Bodenreaktion unterschied (siehe Kap. 3.3). Von später in Kultur genommenen Standorten, auf denen Eichenmisteln erst nach 1995 beprobt werden konnten, lagen ausschließlich für Ca und Mn Daten vor.

Tab. 4.38: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹							
n	4	4	4	12	4	5	12	4	4	4	4	4	4
Minimum	35.3	3.05	16.8	8.20	1.57	30.5	43.0	25.3	13.6	38.9	<0.09	246	<0.09
Maximum	40.9	5.31	32.3	22.6	4.20	117	1069	37.3	26.5	61.7	0.33	382	1.54
Mittelwert	37.3	3.74	24.2	13.8	2.58	78.0	389	32.7	19.1	48.5	0.17	295	0.84
CV (%)	6.5	28.3	26.2	30.3	44.4	42.1	91.7	17.2	28.2	20.2	63.4	20.5	87.6

Die Prüfung auf statistische Sicherheit mit Bezug auf das Jahr der Beprobung ergab insofern signifikante Unterschiede, als die N-Gehalte (Tab. 4.39) sowie die Fe- und Co-Gehalte (Tab. 4.40) in den Proben von 1988 höher waren als in den Proben von 1989.

Tab. 4.39: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt (g kg⁻¹) an Hauptelementen in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Jahr	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
1988	2	44.0 ^a	2	3.16 ^a	2	19.6 ^a	2	13.3 ^a	2	2.58 ^a
1989	7	36.8 ^b	7	3.51 ^a	7	23.0 ^a	7	15.9 ^a	7	2.38 ^a
2004	-	-	-	-	-	-	21	13.4 ^a	-	-

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Tab. 4.40: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt (mg kg⁻¹) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Jahr	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
1988	2	124 ^a	2	720 ^a	2	31.1 ^a	2	18.4 ^a	2	39.0 ^a	2	<0.09 ^a	2	386 ^a	2	1.80 ^a
1989	7	78.4 ^b	7	233 ^a	7	34.8 ^a	7	18.5 ^a	7	49.6 ^a	7	0.15 ^a	7	298 ^a	7	0.72 ^b
2004	2	30.5 ^c	21	422 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Die Prüfung auf statistische Sicherheit mit Bezug auf Beprobungsmonate ergab, daß die K-Gehalte im Oktober signifikant höher lagen als im Juni. Die Ca-Gehalte waren im August und Oktober höher als im Juni und im April (Tab. 4.41).

Tab. 4.41: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Monat	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
April	-	-	-	-	-	-	10	9.20 ^a	-	-
Juni	4	39.9 ^a	4	3.24 ^a	4	17.8 ^a	5	13.9 ^b	4	2.21 ^a
August	-	-	-	-	-	-	10	17.7 ^c	-	-
Oktober	5	37.2 ^a	5	3.59 ^a	5	25.8 ^b	5	16.0 ^{bc}	5	2.60 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Hohe Mn-Gehalte im April beruhten auf Proben von mehrheitlich sauren Standorten, während die August-Proben zur Hälfte von basischen Standorten stammten und relativ niedrige Mn-Gehalte aufwiesen. Die niedrigen Fe-Gehalte im April beruhten dagegen auf zwei Proben von kultivierten Eichenmistel-Standorten mit basischen Böden (Tab. 4.42).

Tab. 4.42: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Monat	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
April	2	30.5 ^a	10	647 ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Juni	4	102 ^b	5	429 ^{ab}	4	32.3 ^b	4	19.5 ^b	4	40.3 ^b	4	<0.09 ^a	4	322 ^a	4	1.10 ^b
August	-	-	10	173 ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oktober	5	77.8 ^{ab}	5	316 ^{ab}	5	35.4 ^b	5	17.7 ^b	5	52.9 ^b	5	0.17 ^a	5	315 ^a	5	0.85 ^b

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Die Prüfung auf statistische Sicherheit mit Bezug auf die Bodenreaktion zeigte, daß die Mg-Gehalte in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten mit sauren Böden signifikant höher waren als von kultivierten Standorten mit basischen Böden (Tab. 4.43).

Die N- und Mg-Gehalte in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten mit sauren Böden waren gegenüber Eichenmisteln von natürlichen Standorten mit sauren und basischen Böden ebenso erhöht wie die Ca-Gehalte in Eichenmisteln von kultivierten Standorten mit basischen Böden (Tab. 4.43).

Tab. 4.43: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von kultivierten bzw. natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden

Standorte	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
Kultur _{basisch}	4	36.4 ^{ab}	4	3.35 ^a	4	18.7 ^a	12	16.8 ^a	4	1.95 ^b
Kultur _{sauer}	5	40.0 ^a	5	3.50 ^a	5	25.1 ^a	18	14.1 ^{ab}	5	2.81 ^a
Natur _{basisch}	3	27.8 ^c	10	3.64 ^a	10	21.1 ^a	10	9.54 ^c	10	1.49 ^b
Natur _{sauer}	9	32.1 ^{bc}	22	2.89 ^a	22	22.3 ^a	27	11.8 ^{bc}	22	1.83 ^b

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden unterschieden sich im Gehalt an Spurenelementen nicht signifikant. Die Mn-Gehalte waren allerdings in Eichenmisteln von kultivierten Standorten mit sauren Böden etwa 12 Mal höher als von kultivierten Standorten mit basischen Böden (Tab. 4.44). Dagegen war der Mn-Gehalt in Eichenmisteln von natürlichen Standorten mit sauren Böden signifikant höher als von kultivierten Standorten mit basischen Böden. Der B-Gehalt war auf kultivierten Standorten insgesamt höher als auf natürlichen Standorten (Tab. 4.44).

Tab. 4.44: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von kultivierten und natürlichen Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden

Standorte	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
Kultur _{basisch}	6	70.8 ^a	12	45.9 ^a	4	30.0 ^{ab}	4	17.6 ^a	4	46.9 ^a	4	0.11 ^a	4	272 ^a	4	0.60 ^a
Kultur _{sauer}	5	103 ^a	18	577 ^{ab}	5	37.2 ^a	5	19.2 ^a	5	47.6 ^a	5	0.16 ^a	5	355 ^a	5	1.25 ^a
Natur _{basisch}	10	85.3 ^a	10	195 ^{ab}	10	19.3 ^b	10	12.6 ^a	10	25.9 ^b	3	0.16 ^a	10	644 ^{ab}	3	0.69 ^a
Natur _{sauer}	24	100 ^a	27	873 ^b	22	23.0 ^b	22	16.6 ^a	22	31.1 ^b	9	0.15 ^a	22	914 ^b	9	1.61 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Der Zn-Gehalt war in Eichenmisteln von kultivierten Standorten mit sauren Böden höher als von natürlichen Standorten mit sauren bzw. basischen Böden. Die Fe-, Cu-, Co- und Mo-Gehalte zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standortgruppen (Tab. 4.44).

In Tabelle 4.45 sind die signifikanten linearen Korrelationen zwischen den Mineralstoff-Gehalten in Eichenmisteln und den Bodenparametern kultivierter Eichenmistel-Standorte zusammengestellt. Der Ca-Gehalt in Eichenmisteln war schwach, aber signifikant und positiv mit dem Humus-Gehalt und dem pH-Wert sowie dem Ca_{extr} -Gehalt im Boden korreliert.

Tab. 4.45: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Mineralstoff-Gehalten in Eichenmisteln und Bodenparametern von kultivierten Eichenmistel-Standorten

		Mineralstoff-Gehalte in Eichenmisteln									
		P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Mo	Na	Co
Bodenparameter	OS	n.s.	-0.75	0.61	-0.89	n.s.	-0.64	n.s.	-0.75	n.s.	n.s.
	pH _{H2O}	n.s.	n.s.	0.46	-0.69	-0.71	-0.64	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	pH _{KCl}	n.s.	n.s.	0.50	n.s.	-0.69	-0.67	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	P _{Citr}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0.76	-0.78
	Ca _{extr}	n.s.	n.s.	0.53	-0.71	n.s.	-0.65	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Mg _{DL}	0.69	n.s.	n.s.	0.75	0.64	n.s.	0.82	n.s.	n.s.	n.s.
	Fe _{extr}	n.s.	n.s.	-0.44	n.s.	0.67	0.60	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Mn _{extr}	n.s.	0.74	n.s.	0.86	n.s.	n.s.	n.s.	0.69	n.s.	n.s.
	Zn _{extr}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.60	n.s.	n.s.	n.s.	0.69	n.s.
	Cu _{extr}	0.78	0.76	n.s.	0.90	0.65	n.s.	n.s.	0.87	n.s.	n.s.

Erläuterungen: pH_{H2O} / pH_{KCl} = in H₂O- bzw. KCl (0.1n)-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Mn, Fe, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbares P; Mg_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare Mg-Gehalte.

Der Mn-Gehalt in kultivierten Eichenmisteln war signifikant negativ mit dem Humus-Gehalt, den pH-Werten und dem Ca_{extr}-Gehalt sowie positiv mit dem Fe_{extr}-Gehalt im Boden korreliert (Tab. 4.45). Abb. 4.16 zeigt die Beziehung zwischen dem Mn-Gehalt in Eichenmisteln und dem Ca_{extr}-Gehalt im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte.

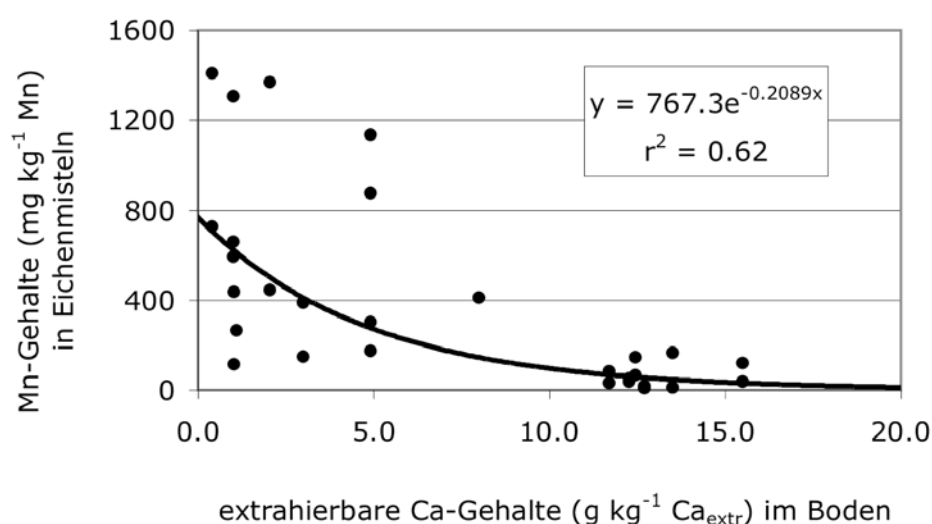


Abb. 4.16: Beziehung zwischen dem Ca_{extr}-Gehalt im Boden und dem Mn-Gehalt in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Der Fe-Gehalt in Eichenmisteln von kultivierten Standorten war negativ mit dem pH-Wert (Abb. 4.17) sowie positiv mit dem Mg_{DL} -, Fe_{extr} -, Zn_{extr} - und Cu_{extr} -Gehalt im Boden korreliert. Auffallend war ferner die positive Beziehung des Na-Gehaltes in Eichenmisteln mit dem Zn_{extr} -Gehalt im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte (Tab. 4.45).

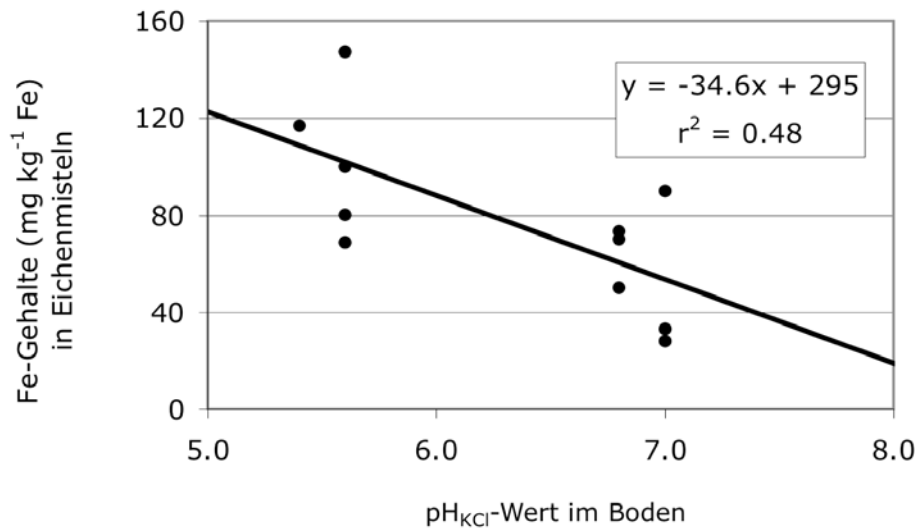


Abb. 4.17: Beziehung zwischen dem pH_{KCl} und dem Fe-Gehalt in Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Bemerkenswert waren die negativen Beziehungen des Mg-Gehaltes in Eichenmisteln mit dem Humus-Gehalt, dem pH_{H_2O} -Wert und dem Ca_{extr} -Gehalt sowie die positiven Beziehungen mit dem Mg_{DL} - und Mn_{extr} -Gehalt im Boden (Tab. 4.45).

4.3 Untersuchungen zum Eichenwachstum auf unterschiedlichen Böden

In Freiland- und Gefäßversuchen wurde der Einfluß eines basischen Bodens und zweier saurer Böden auf Wachstum und Mistelempfänglichkeit von Eichen verglichen. Die Böden stammten von kultivierten Eichenmistel-Standorten mit unterschiedlichen Merkmalen:

- Der Standort *Höfli-1* fiel durch kalk-induzierte Chlorosen auf, hatte einen schwach basischen, Ca-reichen, Mn- und Fe-armen Boden, der als "Kalk" bezeichnet wurde.
- Auf dem Standort *Disli-oben* wurden Eichen unerwartet mistelempfänglich; der als "Ton" bezeichnete Boden war mäßig sauer und mäßig mit Ca, Fe sowie Mn versorgt.
- Auf dem Standort *Macon* wurden auf einem stark sauren, schwach mit Ca_{extr} , aber gut mit Fe_{extr} und Mn_{extr} versorgten "Sand"-Boden ab 1990 Eichenmisteln kultiviert.

Einzelheiten zu den Bodenparametern der drei Standorte finden sich in Tabelle A-15b.

4.3.1 Vergleich der Böden und Eichen vom "Kalk"- und "Ton"-Standort

1978 auf dem "Kalk"-Standort *Höfli-1* gepflanzte Eichen zeigten Mitte der 1980er Jahre kleine, gelbe, von grünen Hauptnerven durchzogene Blattspreiten (Abb. 4.18), die in Nekrosen übergingen und zu vorzeitiger Seneszenz neigten. Anhand der Kriterien von Bergmann (1993) wurden diese Symptome als Mn- bzw. Fe-Mangel eingestuft. Chlorotische Eichen hatten eine hohe Sterberate, die auf chlorotischen Eichen siedelnden Misteln wuchsen schwach und starben ebenfalls oft nach wenigen Jahren ab.

Am "Ton"-Standort *Disli-oben* hatten Eichen, die 1976 aus Saatgut einer schweizerischen Eiche angezogen wurden, große und noch im Herbst dunkelgrüne Blätter (Abb. 4.18) und zeigten mehrfachen Austrieb der Sproßknospe im Jahr. Drei von zehn Eichen erwiesen sich dabei als mistelempfänglich, obwohl der Mutterbaum und dessen Nachkommen auf anderen Standorten zuvor als mistelresistent eingestuft worden waren.



Abb. 4.18: Chlorotische und grüne Blätter von kultivierten Misteleichen

Erläuterung: Chlorosen auf dem "Kalk"-Standort *Höfli* (links), grüne Blätter auf dem "Ton"-Standort *Disli-oben* (rechts)

Der "Kalk"-Standort *Höfli 1* enthielt im Boden doppelt so viel Ca_{extr} wie der "Ton"-Standort *Disli-oben* und hatte einen mittleren $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert von 7.5, verglichen mit einem $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert von 5.4 auf dem Standort *Disli-oben* (Tab. 4.46). Im Vergleich zu den Angaben in Tab. A-15b lag der $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert auf dem Standort *Disli oben* um 1.3 Einheiten niedriger, was auf der Beprobung einzelner Bäume in Stammnähe beruhen könnte; dort dürften Stammabfluß und Wurzelausscheidungen eine stärkere pH-Senkung ausgelöst haben (Beyer et al. 1991) als zwischen den Bäumen, was die Werte in Tab. A-15b belegen.

Der Boden vom "Ton"-Standort *Disli-oben* enthielt 25% weniger Humus, aber mehr extrahierbares P_{extr} , Mn_{extr} und Fe_{extr} als der Boden vom "Kalk"-Standort *Höfli 1* (Tab. 4.46).

Tab. 4.46: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für die Bodenparameter kultivierter Misteleichen ($n = 3$) vom "Kalk"-Standort *Höfli-1* und vom "Ton"-Standort *Disli-oben*

Bodenparameter	Einheit	"Kalk"-Standort	"Ton"-Standort
OS	%	12.0 ^a	8.80 ^b
$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$		7.40 ^a	5.40 ^b
$\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}$	mg kg^{-1}	< 0.01 ^a	3.00 ^b
Ca_{extr}	g kg^{-1}	11.1 ^a	5.40 ^b
Fe_{extr}	mg kg^{-1}	2.20 ^a	61.1 ^b
Mn_{extr}	mg kg^{-1}	1.10 ^a	24.2 ^b

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Zeilen geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}$ = mit Wasser extrahierbare P-Gehalte; $[\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mn}]_{\text{extr}}$ = mit $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$ extrahierbare Ca-, Fe- und Mn-Gehalte.

Der Mn-Gehalt in Eichenblättern vom "Kalk"-Standort lag unter dem Grenzwert für Mn-Mangel, den Bergmann (1993) mit 25 mg kg^{-1} Mn angibt; Eichenblätter vom "Ton"-Standort enthielten im Vergleich dazu 9 Mal mehr Mn. Die Ca-, P- und Fe-Gehalte in Eichenblättern vom "Kalk"- und "Ton"-Standort waren nicht signifikant verschieden (Tab. 4.47).

Tab. 4.47: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Mineralstoff-Gehalte in den Blättern ($n = 5$) kultivierter Misteleichen vom "Kalk"-Standort *Höfli-1* und vom "Ton"-Standort *Disli-oben*

Mineralstoff	Einheit	"Kalk"-Standort	"Ton"-Standort
P	g kg^{-1}	1.51 ^a	1.79 ^a
Ca	g kg^{-1}	17.1 ^a	14.2 ^a
Fe	mg kg^{-1}	50.7 ^a	51.9 ^a
Mn	mg kg^{-1}	16.2 ^a	141 ^b

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Zeilen geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Eichenblätter hatten auf dem "Ton"-Standort *Disli-oben* signifikant höhere Wassergehalte, größere Blattflächen und höhere Chlorophyll-Gehalte als Eichenblätter auf dem "Kalk"-Standort *Höfli-1* (Tab. 4.48).

Tab. 4.48: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Blattparameter kultivierter Misteleichen (n = 3) vom "Kalk"-Standort *Höfli-1* und vom "Ton"-Standort *Disli-oben*

Blattparameter	Einheit	"Kalk"-Standort	"Ton"-Standort
Wassergehalt	%	52.8 ^a	57.3 ^b
Spezifische Blattfläche	cm ² g ⁻¹ TG	108 ^a	128 ^b
Chlorophyll-Gehalt	mg g ⁻¹ FG	1.00 ^a	2.70 ^b
Chlorophyll-Gehalt	mg [cm ²] ⁻¹	19.8 ^a	49.9 ^b

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Zeilen geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Der Chlorophyll-Gehalt korrelierte negativ mit dem pH-Wert und dem Ca_{extr}-Gehalt im Boden kultivierter Eichen auf dem "Kalk"- und "Ton"-Standort, positiv dagegen mit dem Fe_{extr}- und Mn_{extr}-Gehalt im Boden sowie dem Mn-Gehalt in Eichenblättern (Tab. 4.49). Der Wassergehalt und die spezifische Blattfläche waren negativ mit dem Ca_{extr}-Gehalt und positiv mit dem Fe_{extr}-Gehalt im Boden korreliert. Die spezifische Blattfläche korrelierte positiv mit dem Mn_{extr}-Gehalt im Boden und dem Mn-Gehalt in Eichenblättern (Tab. 4.49).

Tab. 4.49: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Boden- und Blattparametern kultivierter Misteleichen vom "Kalk"-Standort und vom "Ton"-Standort

	Spezifische Blattfläche	Wasser-Gehalt	Chlorophyll-Gehalt	
Parameter	(cm ² g ⁻¹ TG)	(% H ₂ O)	(mg g ⁻¹ FG)	(mg [cm ²] ⁻¹)
pH _{H2O}	n.s.	n.s.	-0.95	-0.96
Ca _{Boden} (mg g ⁻¹)	-0.82	-0.85	-0.95	-0.95
Fe _{Boden} (mg kg ⁻¹)	0.88	0.86	0.97	0.96
Mn _{Boden} (mg kg ⁻¹)	0.90	n.s.	0.96	0.91
Mn _{Eiche} (mg kg ⁻¹)	0.82	n.s.	0.96	0.95

Erläuterung: n. s. = nicht signifikant.

Festzuhalten ist, daß auf dem "Kalk"-Standort *Höfli-1* hohe Ca_{extr}-Gehalte und pH-Werte im Boden die Mn_{extr}- und Fe_{extr}-Verfügbarkeit begrenzten. Chlorosen gingen mit Mn-Mangel in kleinen, gelben Eichenblättern einher, die verglichen mit großen, grünen und Mn-reichen Eichenblättern auf dem "Ton"-Standort *Disli-oben* zudem weniger Wasser und Chlorophyll enthielten.

4.3.2 Gefäßversuche mit Eichen auf "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden

Um im Freiland festgestellte Bodeneinflüsse auf das Eichenwachstum unabhängig von anderen Standortfaktoren wie Temperatur, Niederschlag, Lichteinfall, Höhe über NN zu untersuchen, wurden Gefäßversuche mit möglichst homogenem Saatgut und der Möglichkeit zur Wurzelbonitierung durchgeführt.

Große Wurzelkästen (WUG) mit Boden vom "Kalk"- und "Ton"-Standort

Auf dem unbehandelten Boden vom "Ton"-Standort wuchsen die Pfahlwurzeln der Eichensämlinge schneller in die Tiefe als auf dem unbehandelten Boden vom "Kalk"-Standort, auf dem bei 50% der Eichen bereits im August der ersten Vegetationsperiode das Wachstum der Wurzel stagnierte (Abb. 4.19). An den Pfahlwurzeln von Eichen auf dem "Ton"-Boden inserierten kurze, kräftige, im Herbst sichtbar mykorrhizierte Seitenwurzeln, während Eichen auf dem "Kalk"-Boden anstelle von Pfahlwurzeln längere Seitenwurzeln zeigten, an denen kaum Mykorrhizen sichtbar waren (Tab. 4.50b). Eichen auf dem "Ton"-Boden entwickelten im ersten Jahr mehr sekundäre (Johannitriebe) und tertiäre Austriebe und waren im Herbst deutlich größer als Eichen auf dem "Kalk"-Boden (Tab. 4.50a). Die kleinen, gelben Blätter von Eichen auf dem "Kalk"-Boden waren stark mit Mehltau befallen, während Eichen auf dem "Ton"-Boden große, dunkelgrüne und nur mäßig mit Mehltau befallene Blätter zeigten (Tab. 4.50b; Abb. 4.21).

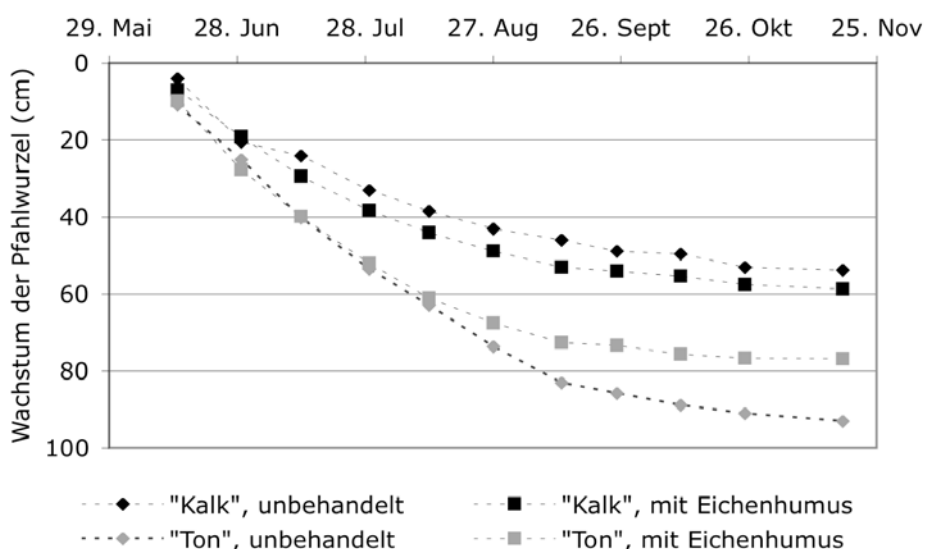


Abb. 4.19: Länge der Pfahlwurzel von Eichensämlingen (*Quercus robur*) in großen Wurzelkästen auf den unbehandelten bzw. mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"- bzw. "Ton"-Böden im Jahr 1988

Erläuterung: n = 4 für unbehandelte Böden, n = 6 für mit Eichenhumus durchmischte Böden; Aussaat 25. Mai 1988; Daten ohne statistische Bearbeitung übernommen aus Ramm (1990).

Tab. 4.50a: Mittlere Wachstumsparameter von Eichensämlingen (*Quercus robur*) auf den unbehandelten bzw. mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"- bzw. "Ton"-Böden in großen Wurzelkästen

Parameter	Einheit	Bonitierung	"Kalk"-Boden		"Ton"-Boden	
			unbehandelt (n = 4)	Eichenhumus (n = 6)	unbehandelt (n = 4)	Eichenhumus (n = 6)
Sproßhöhe	mm	September 1988	125	108	114	104
Knospenaustriebe	n/Jahr	September 1988	1.80	1.80	2.30	2.00
Sproßzuwachs	mm	Oktober 1989	13.7 ±0.31	17.7 ±0.50	193 ±1.97	71.2 ±2.09
Wurzel Durchmesser	mm	Oktober 1989	2.66 ±0.31	3.86 ±1.10	12.6 ±1.85	8.86 ±0.77

Erläuterung: Daten ohne weitere statistische Bearbeitung aus Ramm (1990) übernommen; ± = Standardabweichung; September 1988 = Ende der ersten Vegetationsperiode; Oktober 1989 = Ende der zweiten Vegetationsperiode.

Im Vergleich mit unbehandelten Böden verbesserte das Durchmischen mit Humus, der auf dem "Kalk"-Standort von einer ausgewachsenen Eiche stammte, das Wachstum auf dem "Kalk"-Boden, verschlechterte es dagegen auf dem "Ton"-Boden (Abb. 4.19; Abb. 4.20; Tab. 4.50a; Tab. 4.50b).

Tab. 4.50b: Mittlere Wachstumsparameter von Eichensämlingen (*Quercus robur*) auf den unbehandelten bzw. mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"- bzw. "Ton"-Böden in großen Wurzelkästen

Parameter	Bonitierung	"Kalk"-Boden		"Ton"-Boden	
		unbehandelt	Eichenhumus	unbehandelt	Eichenhumus
Mykorrhizierung	September 1988	kaum	mäßig	stark	schwach
Blattfarbe / Munsell-Code	September 1988	gelb / 5-Y-8/8	grün-gelb / 2.5-GY-8/8	dunkelgrün / 5-G-4/4	grün / 2.5-G-4/6
Mehltau	September 1988	sehr stark	stark	mäßig	mäßig
Blattfarbe / Munsell-Code	Oktober 1989	braun / 5-YR-4/6	braun-gelb / 2.5-Y-7/8	dunkelgrün / 5-G-4/4	grün / 2.5-G-4/6
Wurzelaktivität	Oktober 1989	gering	gering	stark	schwach
Vitalität im Sproß	Oktober 1989	absterbend	absterbend	sehr vital	sehr vital

Erläuterung: Daten ohne weitere statistische Bearbeitung aus Ramm (1990) übernommen; September 1988 = Ende der ersten Vegetationsperiode; Oktober 1989 = Ende der zweiten Vegetationsperiode; Munsell-Code: bonitiert nach Munsell (undat.).

Im zweiten Jahr zeigten die Eichen auf den "Kalk"-Böden in Sproß (Abb. 4.20) und Wurzel (Tab. 4.50a) deutlich weniger Wachstum als auf den "Ton"-Böden, wobei die mit Eichenhumus durchmischten Böden die Wachstumsparameter auf dem "Kalk"-Boden verbesserten und auf dem "Ton"-Boden verschlechterten (Abb. 4.19, Abb. 4.20; Tab. 4.50a).

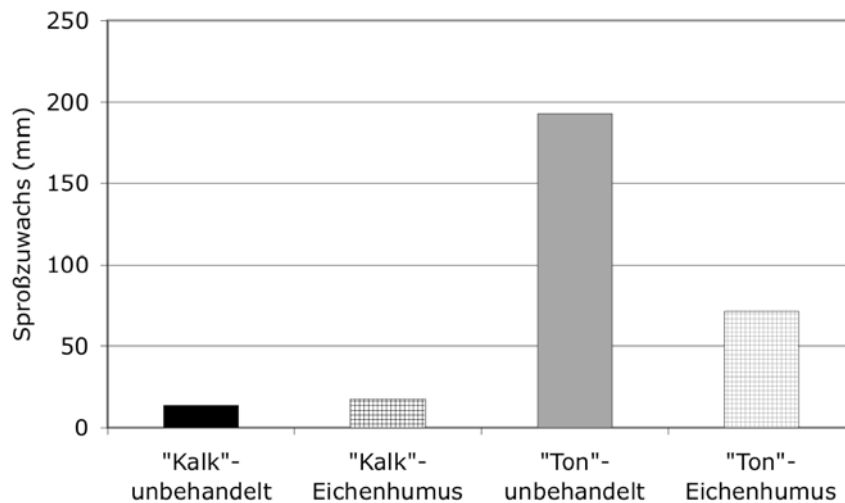


Abb. 4.20: Sproßzuwachs in der zweiten Vegetationsperiode bei jungen Eichen (*Quercus robur*), gewachsen in großen Wurzelkästen (WUG) auf den unbehandelten bzw. mit Eichenhumus durchmischten Böden vom "Kalk"- bzw. "Ton"-Standort

Während Eichen auf den unbehandelten "Ton"-Böden mehrere Austriebe aus der apikalen Sproßknospe (Johannitrieb, Augusttrieb) zeigten und die großen Blätter im Herbst 1989 noch grün waren, hatten die Blätter von Eichen auf den unbehandelten "Kalk"-Böden kleine Blätter, die sich bereits im Sommer 1989 gelb färbten und später nekrotisch wurden (Abb. 4.21). Im Herbst 1989 starben alle Eichen auf dem unbehandelten und dem mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"-Boden ab (Tab. 4.50b).

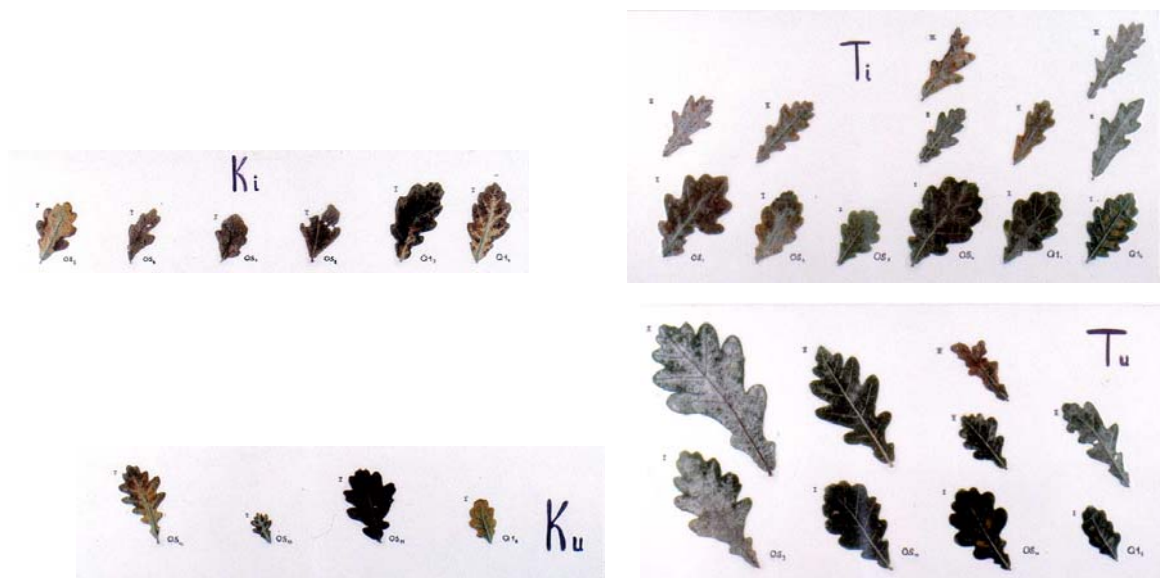


Abb. 4.21: Typische Blätter von Eichen (*Quercus robur*), gewachsen auf den unbehandelten und mit Eichenhumus durchmischten "Kalk"- und "Ton"-Böden, in der ersten Vegetationsperiode (1988)

Erläuterungen: Ku (oben links) = "Kalk"-Boden unbehandelt, Ki (unten links) = "Kalk"-Boden mit Eichenhumus durchmischt; Tu (oben rechts) = "Ton"-Boden unbehandelt, Ti (unten rechts) = "Ton"-Boden mit Eichenhumus durchmischt; Eichen in Ku (n= 4) und Ki (n= 6) mit einem Austrieb der Sproßknospe im April; Eichen in Tu (n= 4) und Ti (n= 6) mit bis zu drei Austrieben der Sproßknospe (April, Juni und September).

1990 wurden die Eichen, gewachsen auf den "Ton"-Böden, mit Mistelkerne besät. Auf dem mit Eichenhumus durchmischten "Ton"-Boden begann 1992 auf einer Eiche, die von einer nicht misteltragenden Schweizer Eiche stammte, eine Mistel zu wachsen (Abb. 4.22).

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß mit Eichensämlingen in großen Wurzelkästen innerhalb von vier Jahren die im Freiland beobachteten Phänomene – "unerwartete Mistelempfänglichkeit" auf dem "Ton"-Boden vom Standort *Disli-oben* und Chlorosen sowie hohe Mortalität auf dem "Kalk"-Boden vom Standort *Höfli-1* – reproduziert werden konnten. Dabei beeinträchtigte der Mn-arme "Kalk"-Boden nicht nur das Sproß- und Blattwachstum, sondern insbesondere auch das Wurzelwachstum und die Mykorrhizierung der Eichen.

Abb. 4.22: Junge Mistel auf Eichensämling (*Quercus robur*) in einem großen Wurzelkasten

Erläuterung: Eiche gewachsen auf dem mit Eichenhumus durchmischten "Ton"-Boden, Aufnahmen vom Dezember 1992 (oben) und Juli 1994 (unten).



Kleine Wurzelkästen (Wug) mit "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden

Die Pfahlwurzeln von Eichensämlingen wuchsen auf den "Ton"(Tu)- und "Sand"(Su)-Böden schneller in die Tiefe als auf dem "Kalk"(Ku)-Boden. Bei Eichen, gewachsen auf dem "Ton"(Tu)-Boden, entfaltete der Sproß die Blätter schneller als auf den "Kalk"(Ku)- und "Sand"(Su)-Böden. Diese Unterschiede waren jedoch nicht signifikant (Tab. 4.51).

Sterilisieren verzögerte die Sproßentfaltung und hemmte die Pfahlwurzel der Eichen auf den "Ton"(Ts)- und "Sand"(Ss)-Böden, während beide Wachstumsparameter bei Eichen auf dem "Kalk"(Ks)-Boden gefördert wurden (Tab. 4.51).

Tab. 4.51: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Entwicklungsparameter von Eichensämlingen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden

Parameter	Ku	Tu	Su	Ks	Ts	Ss
Wurzeltiefe (mm)	178 ^{aA}	268 ^{bB}	254 ^{bB}	212 ^A	192 ^A	222 ^B
Sproßentfaltung (Tage)	39.4 ^{aA}	28.0 ^{aA}	35.2 ^{aA}	36.3 ^A	36.0 ^A	44.0 ^A

Erläuterungen: Wurzeltiefe = Spitze der Pfahlwurzel gemessen in mm von der Bodenoberfläche am 21. Tag nach der Aussaat der Eicheln; Sproßentfaltung = Anzahl Tage von der Aussaat der Eicheln bis zur vollen Entfaltung der ersten Laubblätter; verschiedene Kleinbuchstaben in den Zeilen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den unbehandelten Böden; Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen der unbehandelten und sterilisierten Bodenvariante an.

Eichensämlinge entwickelten auf dem "Ton"(Tu)-Boden mehr Biomasse als auf den "Kalk"(Ku)- bzw. "Sand"(Su)-Böden. Sterilisieren nivellierte die Unterschiede insofern, als Eichen auf dem sterilisierten "Ton"(Ts)-Boden weniger Biomasse aufwiesen als auf dem unbehandelten "Ton"(Tu)-Boden. Eichen auf den sterilisierten "Ton"(Ts)-, "Kalk"(Ks)- bzw. "Sand"(Ss)-Böden waren diesbezüglich nicht zu unterscheiden (Tab. 4.52; Abb. 4.23).

Tab. 4.52: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Biomasse von Eichensämlingen, gewachsen auf dem unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden

Parameter	Ku	Tu	Su	Ks	Ts	Ss
Sproßgewicht (g FG)	1.82 ^{bB}	4.30 ^{aB}	2.04 ^{bB}	2.68 ^B	2.61 ^A	2.41 ^B
Wurzelgewicht (g FG)	3.13 ^{bB}	6.98 ^{aB}	3.86 ^{bB}	3.66 ^B	4.44 ^A	3.62 ^B
Blattgewicht (g TS)	0.50 ^{bB}	0.99 ^{aA}	0.44 ^b	0.77 ^A	0.67 ^B	0.61 ^B
Seitenwurzel (g FG)	0.60 ^{bA}	0.16 ^{aA}	0.91 ^{abA}	0.54 ^A	1.04 ^A	0.95 ^A

Erläuterung: Verschiedene Kleinbuchstaben in den Zeilen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den unbehandelten Böden; Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen der unbehandelten und sterilisierten Bodenvariante an.

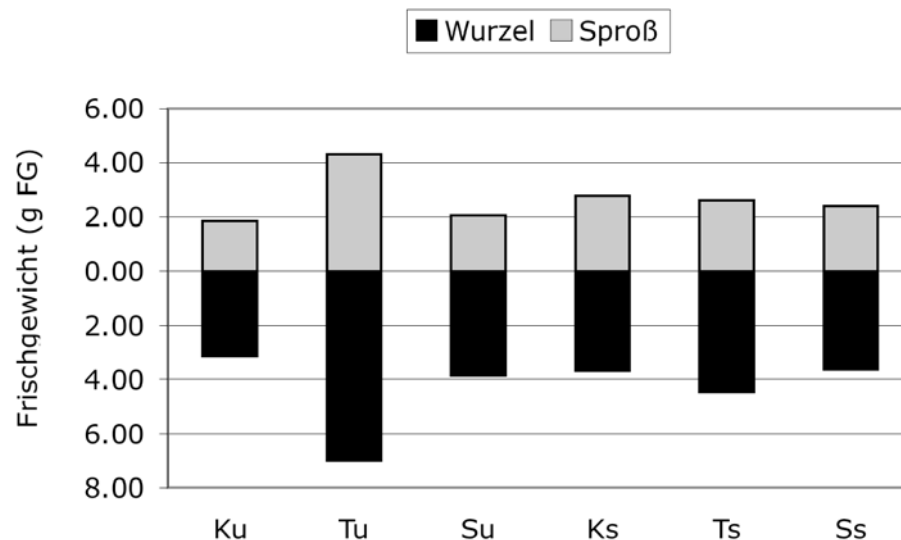


Abb. 4.23: Mittlere Wurzel- und Sproßgewichte von Eichensämlingen (*Quercus robur*), gewachsen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden

Eichensämlinge wiesen auf dem "Ton"(Tu)-Boden die geringste Wurzelspitzendichte, jedoch die stärkste Mykorrhizierung (48%) auf. Vergleichbar mykorrhiziert (42%), verbunden mit der höchsten Wurzelspitzendichte, waren die Eichen auf dem "Sand"(Su)-Boden. Eichen, gewachsen auf dem "Kalk"(Ku)-Boden, hatten eine hohe Wurzelspitzendichte, waren aber nur schwach (10%) mykorrhiziert (Tab. 4.53).

Sterilisieren hemmte die Mykorrhizierung von Eichenwurzeln auf den drei Böden wie beabsichtigt fast vollständig und senkte die Wurzelspitzendichte auf den "Kalk"(Ks)- und "Sand"(Ss)-Böden, während sie auf dem "Ton"(Ts)-Boden erhöht wurde (Tab. 4.53).

Tab. 4.53: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Wurzelparameter von Eichensämlingen auf den unbehandelten (u) bzw. sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden

Parameter	Ku	Tu	Su	Ks	Ts	Ss
Wurzelspitzendichte (n * 10 ³ g ⁻¹ FG Sw)	51.8 ^{aA}	7.81 ^{bB}	17.9 ^{abA}	14.5 ^A	10.2 ^B	10.6 ^A
Mykorrhizierung (%)	10.5 ^{bB}	48.3 ^{aA}	42.4 ^{aA}	< 0.01 ^B	1.6 ^B	< 0.01 ^B

Erläuterung: Verschiedene Kleinbuchstaben in den Zeilen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den unbehandelten Böden; Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen der unbehandelten und sterilisierten Bodenvariante an.

Mykorrhizen hatten auf den "Ton"(Tu)- und "Sand"(Su)-Böden überwiegend langgestreckte, helle Kölbchen, auf dem "Kalk"(Ku)-Boden dagegen gedrungene, dunkelbraune (Abb. 4.24). Nicht mykorrhizierte Eichenwurzeln auf den sterilisierten

"Ton"(Ts)- und "Sand"(Ss)-Böden waren hell gefärbt und auch an den älteren Seitenwurzeln erstaunlich dicht mit Wurzelhaaren besetzt. Die Eichenwurzeln auf dem sterilisierten "Kalk"(Ks)-Boden waren dagegen braun und wiesen selbst an jungen Seitenwurzeln kaum Wurzelhaare auf (Abb. 4.25). Diese Phänomene korrespondierten mit Beobachtungen von Göransson (1994), wonach Pflanzenorgane bei (kalk-induziertem) Mn-Mangel vorzeitig altern. Hartmann (1952) stellte in diesem Zusammenhang fest, daß hohe Ca-Konzentrationen im Boden zum Absterben von Wurzeln führen können.



Abb. 4.24: Mykorrhizierte Seitenwurzeln von Eichensämlingen, gewachsen auf dem unbehandelten "Kalk"(Ku)-Boden (links), "Ton"(Tu)-Boden (Mitte) und "Sand"(Su)-Boden (rechts)

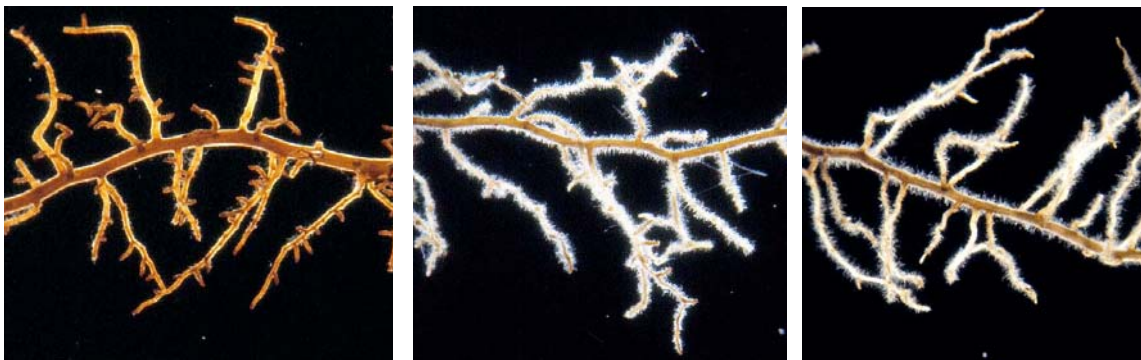


Abb. 4.25: Seitenwurzeln von Eichensämlingen, gewachsen auf dem sterilisierten "Kalk"(Ks)-Boden (links), "Ton"(Ts)-Boden (Mitte) und "Sand"(Ss)-Boden (rechts)

Auf dem "Kalk"(Ku)-Boden gewachsene Eichen hatten höhere Ca-Gehalte im Sproß als Eichen auf den "Ton"(Tu)- und "Sand"(Su)-Böden (Tab. 4.54). Sterilisieren hatte keinen signifikanten Einfluß auf die Ca-Gehalte in Sproß und Wurzel. Generell waren die Ca-Gehalte im Sproß höher als in den Wurzeln (Tab. 4.54).

Eichensämlinge, gewachsen auf dem "Kalk"(Ku)-Boden, hatten die niedrigsten P-Gehalte, Eichen auf dem "Sand"(Su)-Boden die höchsten (Tab. 4.54). Sterilisieren senkte die

P-Gehalte in Sproß und Wurzel auf den "Kalk"(Ks)- und "Ton"(Ts)-Böden signifikant (Tab. 4.54). Hierfür dürfte die fehlende Mykorrhizierung verantwortlich sein, die insbesondere die P-Aufnahme von Baumwurzeln fördert (Egli 1983, Werner 1987, Heinze und Fiedler 1992).

Tab. 4.54: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Ca- und P-Gehalte (g kg^{-1}) in Eichensämlingen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden

Parameter	Ku	Tu	Su	Ks	Ts	Ss
Ca _{Sproß}	31.4 ^{aA}	22.6 ^{bA}	21.7 ^{bA}	34.9 ^A	24.6 ^A	21.5 ^A
Ca _{Wurzel}	10.0 ^{aA}	9.48 ^{aA}	8.18 ^{aA}	9.68 ^A	10.7 ^A	7.26 ^A
P _{Sproß}	0.99 ^{aB}	0.88 ^{aB}	1.75 ^{bB}	0.50 ^A	0.60 ^A	1.52 ^B
P _{Wurzel}	0.91 ^{aB}	0.75 ^{aB}	1.83 ^{bB}	0.37 ^A	0.39 ^A	1.83 ^B

Erläuterung: Verschiedene Kleinbuchstaben in den Zeilen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den unbehandelten Böden; Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen der unbehandelten und sterilisierten Bodenvariante an.

Eichen, gewachsen auf dem "Kalk"(Ku)-Boden, wiesen die niedrigsten, Eichen auf dem "Sand"(Su)-Boden die höchsten Fe-Gehalte auf (Tab. 4.55). Sterilisieren hatte keinen signifikanten Einfluß auf die Fe-Gehalte in Sproß und Wurzel (Tab. 4.55). Generell war die Fe-Konzentration in der Wurzel etwa doppelt so hoch wie im Sproß (Tab. 4.55; Abb. 4.26).

Auf dem "Ton"(Tu)-Boden gewachsene Eichen enthielten in Sproß und Wurzel signifikant mehr Mn als Eichen auf dem "Kalk"(Ku)-Boden, jedoch weniger als Eichen auf dem "Sand"(Su)-Boden (Tab. 4.55). Sterilisieren verdoppelte die Mn-Gehalte im Sproß der Eichen auf den "Kalk"(Ks)- und "Sand"(Ss)-Böden, während Eichen auf dem sterilisierten "Ton"(Ts)-Boden nur wenig mehr Mn enthielten als Eichen von unbehandeltem "Ton"(Tu)-Boden. Die Mn-Gehalte in den Wurzeln ließen sich durch Sterilisieren fast verdoppeln. Unabhängig von Boden und Behandlung war der Mn-Gehalt in der Wurzel stets niedriger als im Sproß (Tab. 4.55; Abb. 4.26).

Tab. 4.55: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Fe- und Mn-Gehalte (mg kg^{-1}) von Eichensämlingen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden

Parameter	Ku	Tu	Su	Ks	Ts	Ss
Mn _{Sproß}	36.1 ^{aB}	251 ^{aB}	560 ^{bB}	86.7 ^B	287 ^B	1230 ^A
Mn _{Wurzel}	10.8 ^{aB}	36.6 ^{aB}	121 ^{bA}	27.6 ^B	84.2 ^A	226 ^B
Fe _{Sproß}	99.7 ^{aA}	118 ^{abA}	151 ^{bA}	96.5 ^A	145 ^A	166 ^A
Fe _{Wurzel}	224 ^{aA}	239 ^{aA}	324 ^{aA}	152 ^A	349 ^A	468 ^A

Erläuterung: Verschiedene Kleinbuchstaben in den Zeilen stehen für signifikante Unterschiede zwischen den unbehandelten Böden; Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen der unbehandelten und sterilisierten Bodenvariante an.

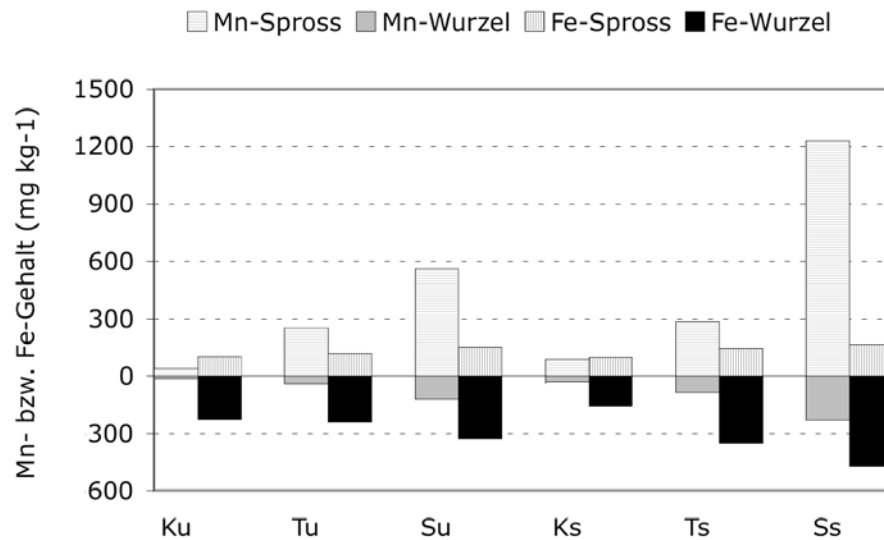


Abb. 4.26: Mittlere Mn- und Fe-Gehalte in Sproß bzw. Wurzel von Eichensämlingen (*Quercus robur*), gewachsen auf den unbehandelten (u) und sterilisierten (s) "Kalk"(K)-, "Ton"(T)- und "Sand"(S)-Böden

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß sich viermonatige Eichensämlinge auf dem "Kalk"-Boden langsamer entwickelten und weniger Biomasse aufwiesen als auf dem "Ton"-Boden. Braune, gestauchte Mykorrhizen auf dem unbehandeltem "Kalk"-Boden und fehlende Wurzelhaare auf dem sterilisierten "Kalk"-Boden deuteten eine verstärkte Tendenz zur Alterung an, die mit kalk-induziertem Mn-Mangel zusammenhängen könnte. Sterilisieren verbesserte das Wachstum von Eichen auf dem "Kalk"-Boden, was auf biotische Ursachen für den niedrigen Mn-Gehalt und die Wachstumshemmung auf unbehandeltem "Kalk"-Boden schließen ließ. Eichensämlinge, gewachsen auf dem "Sand"-Boden, nahmen zwar viel Mn und Fe auf, hatten jedoch weniger Biomasse als Eichensämlinge auf dem "Ton"-Boden.

4.3.3 Mistelempfänglichkeit von Eichen

Auf Eichensämlingen, die auf den unterschiedlich behandelten (Kontrolle, Mulch, Sammel- bzw. Mistelkompost) Böden vom "Ton"-Standort wuchsen, überlebten signifikant mehr Mistelkeime (Abb. 4.27, links) als auf den entsprechend behandelten Böden vom "Kalk"- bzw. "Sand"-Standort (Tab. 4.56). Die auffallende Reduktion überlebender Mistelkeime auf den "Ton"- und "Sand"-Böden im November 1994 (Tab. 4.56) ging auf Schneckenfraß (Abb. 4.27, rechts) im regenreichen Frühjahr 1994 zurück. Die Unterschiede glichen sich aus, als die Eichen im Frühjahr 1997 in neuen Boden (Mischung aus Sammel- und Mistelkompost; Tab. A-19) umgepflanzt wurden.

Tab. 4.56: Mittlere Anzahl überlebender Mistelkeime auf Eichensämlingen im Gefäßversuch und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden

Bonitierungstermin	"Kalk"	"Ton"	"Sand"
Februar 1992	2.36 ^a	9.83 ^b	5.25 ^a
April 1993	2.18 ^a	9.75 ^b	4.75 ^a
Juni 1993	1.73 ^a	9.00 ^b	4.08 ^a
November 1993	1.91 ^a	10.0 ^b	5.25 ^a
November 1994	2.36 ^a	6.25 ^b	3.75 ^{ab}
Mai 1995	1.91 ^a	5.75 ^b	3.33 ^{ab}
April 1997	4.44 ^a	5.42 ^a	4.50 ^a

Erläuterungen: Anzahl überlebender Mistelkeime, gemittelt über 12 Eichen (je 3 Bäume in 4 Behandlungen (unbehandelte Kontrolle, Mulch, Sammel- bzw. Mistelkompost) auf "Kalk"-, "Ton"- bzw. "Sand"-Boden; verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Zeilen geben signifikante Unterschiede an.

Zwischen verschiedenen Behandlungen (Tab. A-23) und Saatgutherkünften (Tab. A-25) waren keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl überlebender Mistelkeime festzustellen.

Eichen auf den "Ton"- und "Sand"-Böden zeigten 1992 ein kräftigeres Grün als Eichen auf den "Kalk"-Böden (Tab. A-20). 1995 ergab die Bonitierung den höchsten Grünanteil in Eichenblättern auf Böden, die mit Mistelkompost angereichert waren (Tab. A-21). Blätter von Eichen vom Mutterbaum Q 537 waren 1992 grüner als vom Mutterbaum Q 456 (Tab. A-22).

Eichen auf den "Ton"- und "Sand"-Böden waren 1990 und 1993 höher gewachsen als Eichen auf den "Kalk"-Böden (Tab. A-20). 1990 und 1998 waren Eichen auf den mit Sammelkompost angereicherten Böden höher als Eichen auf den übrigen Böden (Tab. A-21). Eichen von verschiedenen Mutterbäumen unterschieden sich nicht signifikant beim Wachstum in die Höhe (Tab. A-21).



Abb. 4.27: Junge Mistelkeimlinge (*Viscum album*)

Erläuterungen: Einjähriger Mistelkeimling auf *Quercus robur* (links); Schneckenfraß an jungen Misteln (rechts).

Auf den unterschiedlich behandelten "Ton"-Böden wuchsen bereits drei Jahre nach der ersten Mistelaussaat auf 5 von 12 Eichen junge Misteln. Im Vergleich dazu wuchs die Mistel nur auf drei Eichen der entsprechenden "Sand"-Böden und lediglich auf einer Eiche auf den "Kalk"-Böden (Abb. 4.26). Auf 3 weiteren Eichen auf den "Kalk"-Böden begann die Mistel zu wachsen, nachdem die Bäume im Februar 1997 mit gestutzten Wurzelballen in ein Mischsubstrat aus Sammel- und Mistelkompost umgepflanzt worden waren (Abb. 4.28).

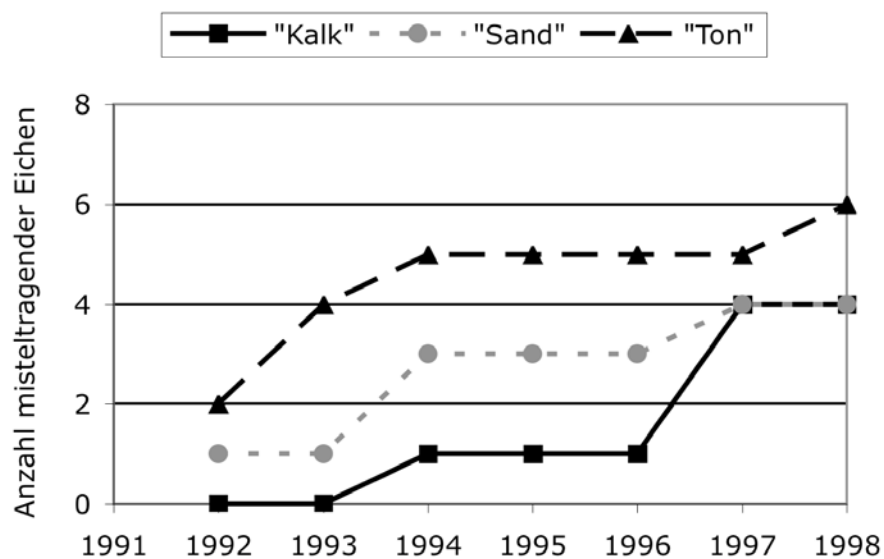


Abb. 4.28: Anzahl misteltragender Eichen auf "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden im Gefäßversuch

Erläuterung: Anzahl misteltragender Eichen von insgesamt 12 Eichen (je 3 Eichen auf den "Kalk"-, "Ton"- bzw. "Sand"-Böden und in den 4 Behandlungen Kontrolle, Mulch, Sammelkompost sowie Mistelkompost).

Beide Komposte zeigten zwar eine basische Bodenreaktion, enthielten jedoch mit 19 bzw. 41 mg kg⁻¹ Mn relativ viel pflanzenverfügbares Mn (Tabelle A-20; im Anhang).

Nach 8 Jahren im Gefäßversuch wurden Quoten von 50% (6 von 12) mistelempfängliche Eichen auf den "Ton"-Böden sowie 33% (4 von 12) auf den "Kalk"- bzw. "Sand"-Böden ermittelt. Diese Werte lagen über den im Freiland unter Praxisbedingungen ermittelten Quoten von 10 bis 25% (Ramm et al. 2000). Dabei konnten auf dem "Ton"-Boden vom Standort *Disli-oben* nicht nur deutlich mehr Eichen die Disposition für die Mistel entwickeln, sondern diese auch erheblich schneller entfalten als Eichen auf dem "Sand"-Boden vom Standort *Macon* und insbesondere auf dem "Kalk"-Boden vom Standort *Höfli*.

Auf drei Eichen auf dem "Kalk"-Boden wurde nach dem Umpflanzen in ein besser mit Mn versorgtes Kompostsubstrat das zuvor stagnierende Wachstum von Mistelkeimlingen stimuliert. Dies läßt sich als Hinweis darauf interpretieren, daß eine ausreichende Mn-Versorgung nicht nur die Vitalität und das Wachstum von Eichen fördern kann, sondern auch für die Etablierung und das Wachstum von Misteln auf Eichen von zentraler Bedeutung sein könnte.

4.4 Einfluß von Standortfaktoren auf die Eichenmistel-Kultivierung

4.4.1 Mistelempfänglichkeit vegetativ und generativ vermehrter Eichen

Um den Einfluß von Bodeneigenschaften auf die Mistelempfänglichkeit von Eichen zu erfassen, wurde im Frühjahr 2005 der Anteil mistelempfänglicher Eichen an der Gesamtheit kultivierter Eichen ermittelt. Von insgesamt 2124 auf den 11 kultivierten Eichenmistel-Standorten wachsenden Eichen waren 349 (16.4%) mistelempfänglich; 88 dieser Misteleichen wurden als Ernteeichen eingestuft (Tab. 4.57).

Tab. 4.57: Mistelempfängliche Eichen von kultivierten Eichenmistel-Standorten (Gesamtbilanz)

Standort	Größe	pH _{H2O}	Gesamtzahl Eichen	Mistelempfängliche Eichen		Ernteeichen
	ha		n	n	%	n
Charbuy	2.00	6.7	563	16	2.8	0
Courcelon	0.94	7.9	106	20	18.9	12
Disli	0.20	7.7	50	11	22.0	2
Grindel	0.30	6.1	108	30	27.8	7
Himmelried	0.90	6.2	153	42	27.5	9
Hiscia	0.02	7.8	5	5	100	5
Höfli	1.20	7.7	353	27	7.6	8
Macon	1.30	5.8	332	58	17.5	30
Nusshofen	1.25	7.8	156	24	15.4	1
Rösli	0.25	6.7	34	10	29.4	1
Rotenburg	2.00	6.3	264	106	40.2	13
Total	10.4		2124	349	16.4	88

Die kultivierten Standorte unterschieden sich im Anteil mistelempfänglicher Eichen (Tab. 4.57). Die Tatsache, daß auf dem sauren Boden vom Standort *Charbuy* nur auf 16 von 563 Eichen (= 2.8%) die Mistel wuchs (Tab. 4.57), war darauf zurückzuführen, daß auf den 1990 gepflanzten Eichen ausgebrachte Mistelkerne wiederholt durch Schneckenfraß vernichtet wurden. Dagegen waren auf dem Standort *Hiscia* trotz seiner basischen Bodenreaktion alle 1985 gepflanzten Eichen mistelempfänglich, wofür neben der Anzucht durch Veredelung (Pfropfung des Edelreises in das Epikotyl keimender Eicheln) auch regelmäßige Kontrollen ausgesäter Mistelkerne sowie Schutzmaßnahmen gegen Schneckenfraß auf den nahe am Mistelforschungsinstitut *Hiscia* wachsenden Misteleichen verantwortlich gewesen sein dürften.

Deutliche Unterschiede bestanden in der Mistelempfänglichkeit zwischen vegetativ durch Veredelung und generativ durch Verschulung bzw. Direktsaat vermehrten Eichen (Tab. 4.58): Auf 119 von 186 (= 64%) veredelten Eichen wuchsen Misteln, darunter befanden sich 52 Ernteeichen. Dagegen konnten von 1943 generativ vermehrten Eichen nur 234 (=12%) Bäume als mistelempfänglich selektiert und 36 davon als Ernteeichen eingestuft werden.

Tab. 4.58: Mistelempfängliche Eichen aus vegetativer und generativer Vermehrung auf kultivierten Eichenmistel-Standorten

Standort	generative Vermehrung				vegetative Vermehrung			
	Gesamtzahl Eichen	Mistelempfängliche Eichen		Ernte-Eichen	Gesamtzahl Eichen	Mistelempfängliche Eichen		Ernte-Eichen
	n	n	%	n	n	n	%	n
Charbuy	563	16	2.8	0	0	0	0.0	0
Courcelon	73	8	11.0	1	33	12	36.4	11
Disli	38	2	5.3	0	11	9	81.8	2
Grindel	105	28	26.7	6	3	2	66.7	1
Hiscia	0	0	0.0	0	5	5	100	5
Himmelried	137	29	21.2	3	16	13	81.3	6
Höfli	322	14	4.3	1	31	13	41.9	7
Macon	322	50	15.5	22	12	8	66.7	8
Nusshofen	132	15	11.4	0	24	9	37.5	1
Rösli	28	4	14.3	0	6	6	100	1
Rotenburg	223	68	30.5	3	41	38	92.7	10
Total	1943	234	12.0	36	182	115	63.2	52

Erläuterung: Gesamtzahl Eichen vom Standort Rotenburg bezogen auf direkt am Endstandort ausgesäte Eichen, berechnet als Summe gekeimter, ein Jahr nach der Aussaat wachsender Sämlinge

Auf 9 kultivierten Eichenmistel-Standorten wurde der Anteil mistelempfänglicher Eichen aus vegetativer bzw. generativer Vermehrung hinsichtlich der Bodenreaktion verglichen. Im Gesamtbestand der Eichen wie auch bei vegetativ und generativ vermehrten Eichenbeständen war der Anteil mistelempfänglicher Eichen auf sauren Böden signifikant ($p < 0.05$) höher als auf basischen Böden (Abb. 4.29).

Dabei lag der Anteil mistelempfänglicher Eichen umso höher, je niedriger der pH-Wert im Boden kultivierter Eichenmistel-Standorte war. Während die Werte für veredelte Eichen stark streuten, bestand für Eichen aus Baumschulanzucht und Direktsaat mit $r^2 = 0.58$ eine signifikante Beziehung mit dem pH-Wert im Boden (Abb. 4.30).

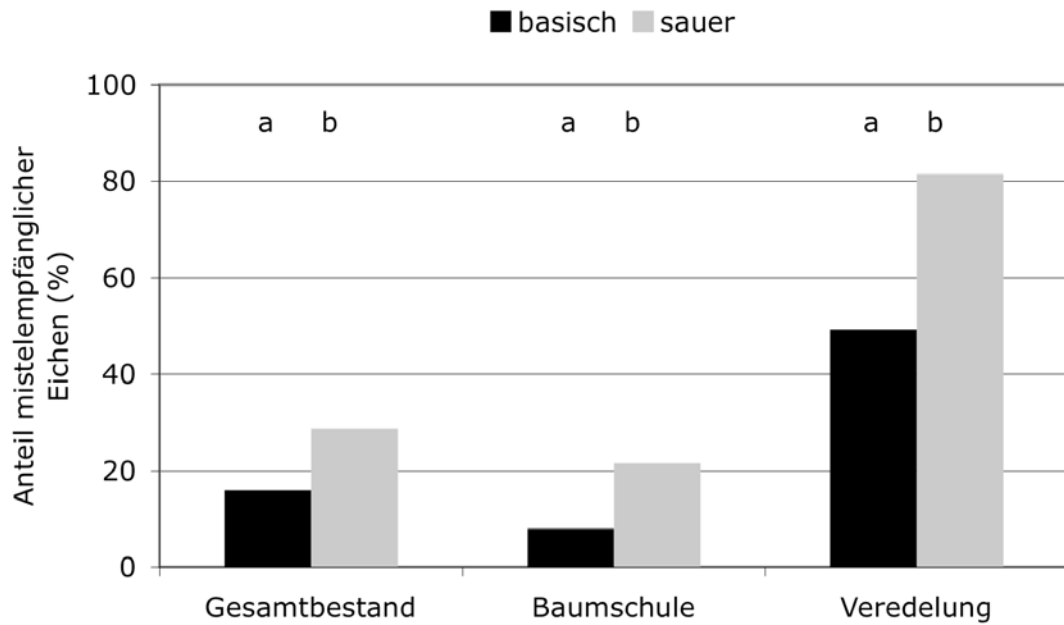


Abb. 4.29: Anteil mistelempfänglicher Eichen (%) auf kultivierten Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) zwischen Standorten mit sauren bzw. basischen Böden an.

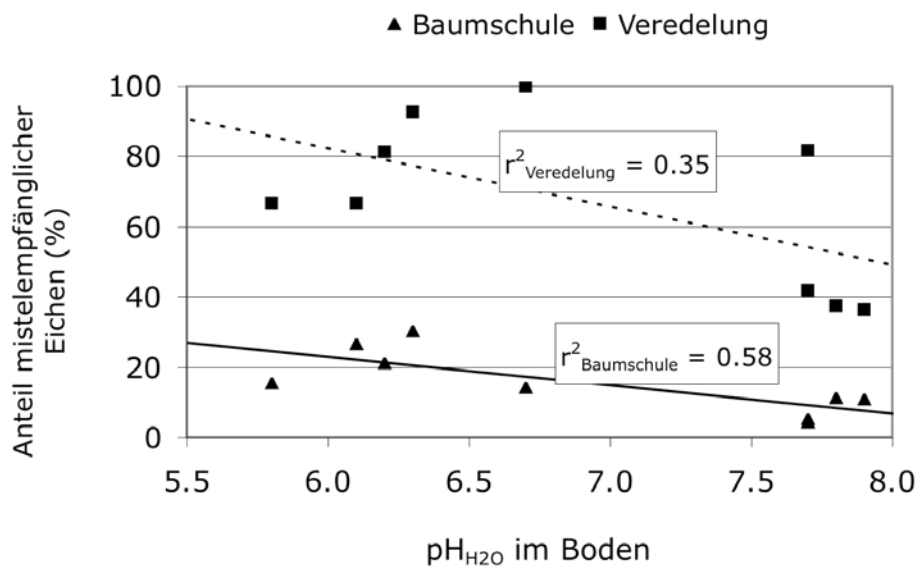


Abb. 4.30: Beziehung zwischen dem pH_{H2O} im Boden und dem Anteil (%) mistelempfänglicher Eichen aus Veredelung und Baumschulanzucht

Bezogen auf die Fläche wuchsen auf kultivierten Standorten mit basischen Böden weniger mistelempfängliche Eichen als auf Standorten mit sauren Böden, und für die Selektion einer Misteiche pro Flächeneinheit mußten auf den basischen Böden mehr Eichen angezogen werden (Tab. 4.59).

Tab. 4.59: Vergleich kultivierter Standorte mit basischen und sauren Böden mit Bezug auf verschiedene Parameter der Mistelempfänglichkeit von Eichen

Parameter	Basische Böden	Saure Böden
Anzahl Standorte	5	6
Gesamtfläche in Hektaar	3.61	6.75
Gesamtzahl Eichen	670	1454
Eichen pro Hektar	185	215
Anzahl Misteleichen	87.0	262
Misteleichen pro Hektar	24.1	38.8
Eichen pro Misteleiche pro Hektar	7.7	5.5

Ab 1999 wurde auf kultivierten Standorten die Eichenmistel für die pharmazeutische Verarbeitung geerntet. Der Schwerpunkt lag zunächst auf der Beerenernte im Winter, während ganze Mistelpflanzen (Blätter und Stengel) erst ab 2002 in größerem Umfang geerntet wurden, um die Mistelbüsche für Eichenmistel-Beerenernten zu schonen (Abb. 4.31).

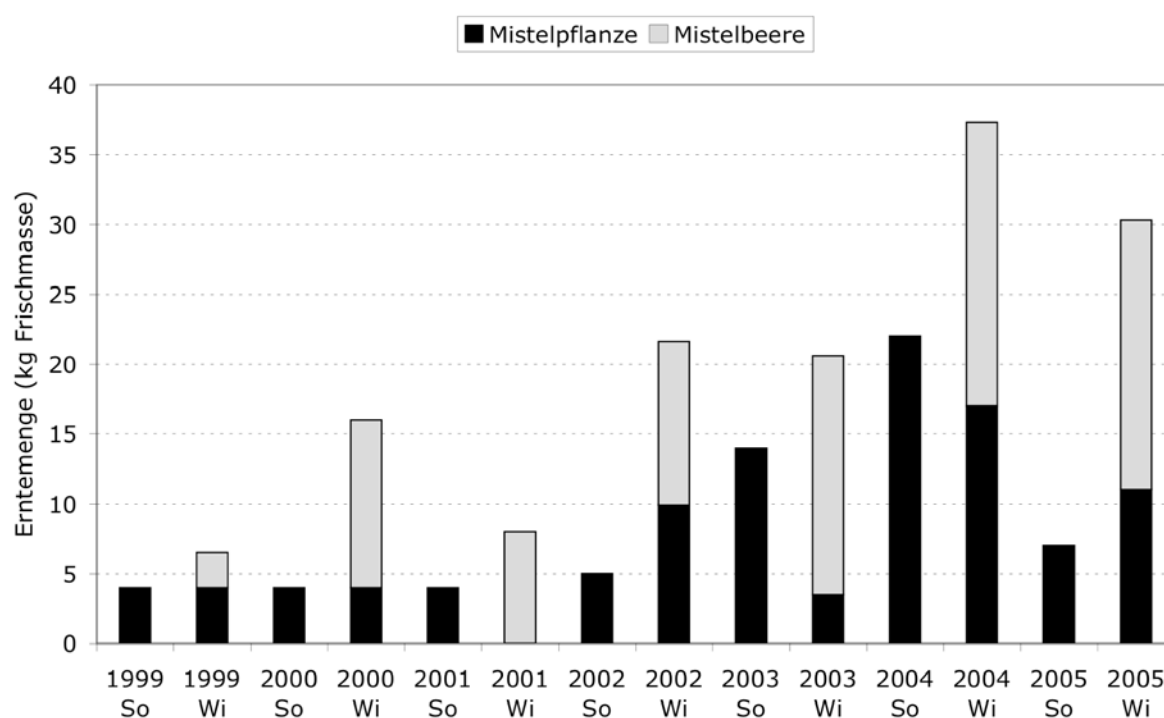


Abb. 4.31: Entwicklung der Erntemengen (kg Frischmasse) von kultivierten Eichenmistel-Standorten
Erläuterung: So = Sommer-Ernte, Wi = Winter-Ernte.

Im Winter 2003, 2004 und 2005 wurden jeweils etwa 20 kg Eichenmistelbeeren von vier kultivierten Eichenmistel-Standorten geerntet (Abb. 4.32). Der größte Anteil stammte dabei

vom Standort *Himmelried*, der seit 1980 kultiviert wurde und eine schwach saure Bodenreaktion ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.2$) aufwies. Die am längsten kultivierten Standorte *Disli* (seit 1975) und *Höfli* (seit 1978) trugen dagegen wenig zur Gesamterntemenge bei. Neben Sturmschäden auf dem Standort *Disli* im Winter 1999 dürfte die eingeschränkte Produktivität auch auf die hohen pH-Werte und Ca-Gehalte sowie die limitierte Mn- und Fe-Verfügbarkeit in den Böden (Tab. A-15b) zurückzuführen sein. So starben in den 1990er Jahren auf dem Standort *Höfli* vermehrt misteltragende Eichen ab, nachdem sich die zuvor aufgetretenen Chlorosen verstärkt hatten und auch der Mistelwuchs beeinträchtigt war.

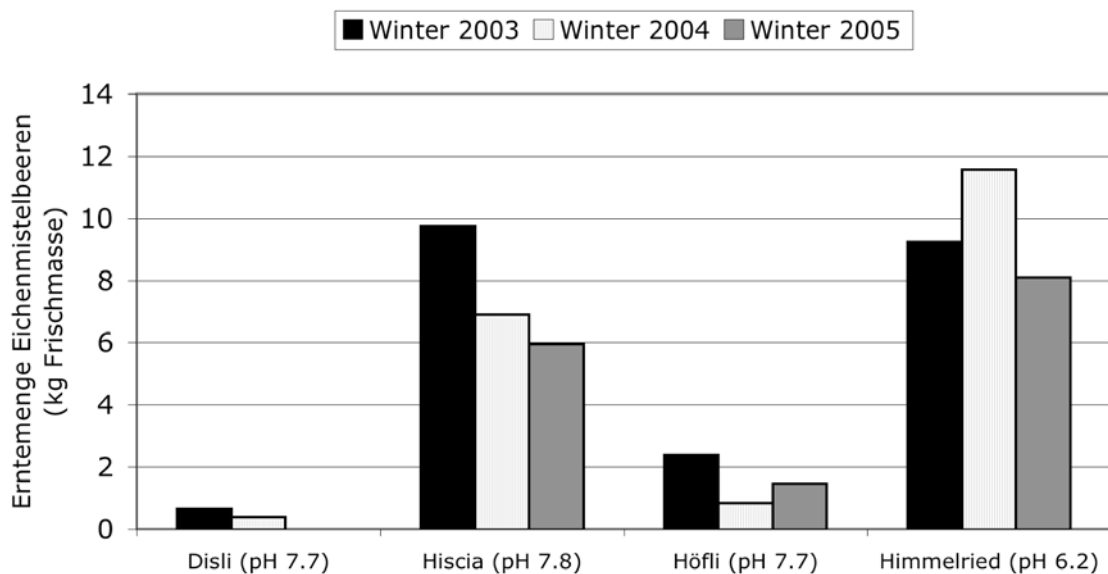


Abb. 4.32: Erntemengen für Eichenmistel-Beeren (kg Frischmasse) im Winter 2003, 2004 und 2005

Auf dem seit 1985 kultivierten Standort *Hiscia* konnten trotz basischer Bodenreaktion ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7.8$) von fünf Misteleichen 30 bis 50% der Eichenmistelbeeren geerntet werden (Abb. 4.32). Hierzu dürfte die im Vergleich zu den Standorten Disli und Höfli erhöhte Mn-Verfügbarkeit (Tab. A-15b) beigetragen haben, die durch Kompostdüngung und Bewässerung in trockenen Sommerwochen zusätzlich gefördert wurde.

Darüber hinaus wurden weitere potentielle bodenchemische Einflüsse auf quantitative Erfolgsparameter der Eichenmistel-Kultivierung nicht untersucht, weil a) die kultivierten Eichenmistel-Standorte bezüglich Alter, Herkunft und Anzucht der Misteleichen zu heterogen waren, b) die Erntemengen am jeweiligen Bedarf in der pharmazeutischen Praxis ausgerichtet wurden und c) die Auswahl der Ernte-Standorte nach pragmatischen Gesichtspunkten (Verhältnis von prognostizierter Erntemenge und erwartetem Ernteaufwand) erfolgte.

4.4.2 Mistelkultivierung mit direkt auf Endstandorten ausgesäten Eichen

Auf dem Standort *Rotenburg*, der eine schwach saure Bodenreaktion aufwies, wurden direkt am Endstandort Eicheln von misteltragenden Mutterbäumen ausgesät und aus den wachsenden Eichensämlingen die mistelempfänglichen Bäume selektiert. Damit sollte unter für Misteleichen als optimal erachteten Bodenbedingungen geprüft werden, inwieweit die Methode *Direktsaat und Selektion mistelempfänglicher Eichen am Endstandort* bezüglich des Anteils mistelempfänglicher Eichen mit den seit 1975 angewendeten Methoden *Veredelung* bzw. *Baumschulanzucht von Misteleichen* vergleichbar war.

Aus der ersten Direktsaat, die im Herbst 1990 auf 46 sorgfältig vorbereiteten, auf einer ehemaligen Ackerfläche gleichmäßig verteilten Saatplätzen (Abb. 4.33) vorgenommen wurde, wuchsen von 782 ausgesäten Eicheln nach einem Jahr 140 Eichensämlinge (Abb. 4.33), was einer Keimrate von 18% entsprach.



Abb. 4.33: Direktsaat von Eichen am Endstandort

Erläuterungen: einjährige Eichensämlinge im mit Rinde bedeckten, mit einem Drahtgestell gegen Wildfraß geschützten Saatbeet (links); Verteilung der im Herbst 1990 eingerichteten Saatplätze (rechts), Aufnahme vom Sommer 2004.

Im vierten Wachstumsjahr (April 1995) wurden auf den Eichen erstmals Mistelkerne ausgebracht, worauf 1996 die ersten mistelempfänglichen Eichen selektiert werden konnten. Jährliche Mistelaussaaten ergaben bis 2005 insgesamt 15 mistelempfängliche Eichen, was bezogen auf insgesamt 35 zum jeweiligen Selektionszeitpunkt auf den 46 Saatplätzen noch wachsende Eichen eine Quote von 42.9% ergab. Die mistelempfänglichen Eichen verteilten sich auf 11 der 46 Saatplätze, womit auf 24% der direkt besäten Endstandorte das angestrebte Ziel, eine mistelempfängliche Eiche zu selektieren, erreicht wurde.

Von 1992 bis 1994 sowie im Jahr 1999 wurden weitere Saatplätze neu eingerichtet, so daß insgesamt auf 120 Erstsaatplätzen 1819 Eicheln ausgesät wurden. Daraus entwickelten sich 368 Eichensämlinge, was einer mittleren Keimrate von 20.1% entsprach. Bis zur Selektion einer mistelempfänglichen Eiche auf den einzelnen Saatplätzen reduzierte sich diese Zahl vor allem durch Mäusefraß auf 110 wachsende Eichen (Tab. 4.60). Hieraus ließen sich auf 26 Saatplätzen (= 23% aller Saatplätze) insgesamt 41 mistelempfängliche Eichen selektieren, was 11.1% der gekeimten bzw. 37.3% der beim Selektionszeitpunkt auf den jeweiligen Erstsaatplätzen noch wachsenden Eichen entsprach (Tab. 4.61).

Von 1992 bis 2001 wurden auf Saatplätzen, auf denen zuvor keine oder nur eine Eiche gekeimt war, bei 120 Nachsaaten insgesamt 2576 Eicheln ausgesät. Daraus gingen 536 Eichensämlinge hervor (Keimrate = 20.8%), deren Zahl sich bis zur Selektion auf 113 wachsende Eichen reduzierte (Tab. 4.60). Auf den insgesamt 22 Nachsaatplätzen ließen sich 27 mistelempfängliche Eichen selektieren, was 5.0% der gekeimten und 23.9% der wachsenden Eichen entsprach (Tab. 4.61). Einzelheiten zu allen Erst- und Nachsaaten finden sich in Tabellen A-26 und Tabelle A-27 im Anhang.

Tab. 4.60: Keimung und Wachstum direkt am Endstandort gesäter Eichen, bezogen auf alle Keimjahre und differenziert nach Erst- und Nachsaatplätzen

Saatplätze		Eicheln/ Saatplatz	ausgesäte Eicheln	gekeimte Eicheln	Keimrate	Eichen bei Selektion
	n	n	n	n	%	n
Erstsaat	120	15.2	1819	368	20.1	110
Nachsaat	126	21.6	2576	536	20.8	113

Tab. 4.61: Mistelempfänglichkeit direkt am Endstandort gesäter Eichen, bezogen auf alle Keimjahre und differenziert nach Erst- bzw. Nachsaatplätzen

Saatplätze	Gesamtzahl Misteleichen	Misteleichen/ gekeimte Eicheln	Misteleichen/ wachsende Eichen	Saatplätze mit Misteleichen
	n	%	%	n
Erstsaat	41	11.1	37.3	26
Nachsaat	27	5.0	23.9	22

Bezogen auf die Mittelwerte der Keimjahre war bei Erstsaten (Tab. A-26) der Anteil "Misteleichen pro gekeimte Eichen" im Vergleich zu Nachsaaten (Tab. A-27) schwach

signifikant erhöht, während die "Keimrate der Eichen" und der Anteil "Misteleichen pro wachsende Eichen" dagegen nur tendenziell höher lagen (Abb. 4.34).

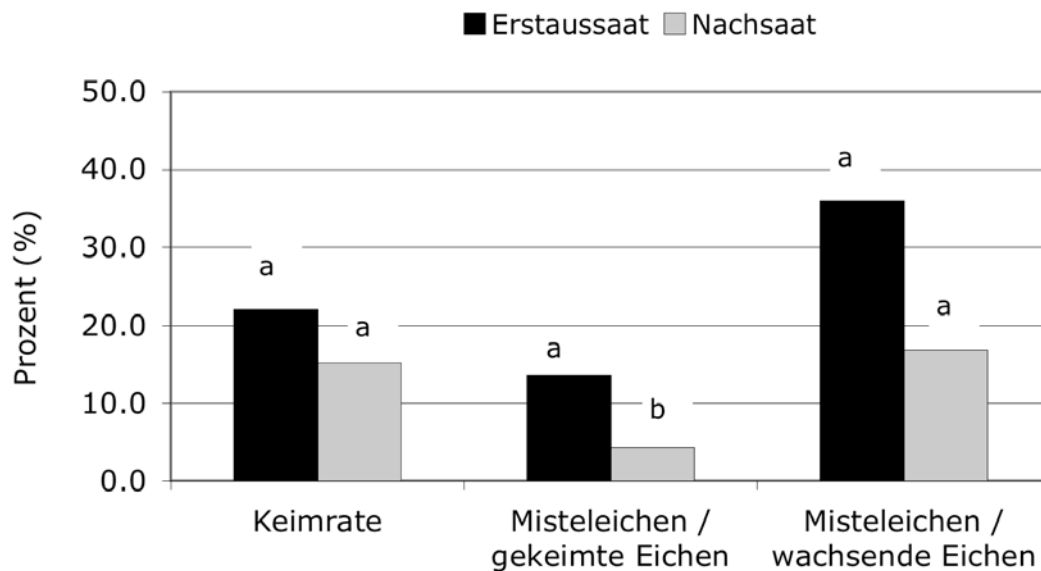


Abb. 4.34: Keimrate von Eichensämlingen und Anteil (%) Misteleichen bei Erstaussaat und Nachsaat

Eräuterungen: verschiedene Buchstaben geben signifikante ($p < 0.05$) Unterschiede zwischen Erst- und Nachsaat an; Daten berechnet aus Mittelwerten der Keimjahre 1991 – 2001.

Insgesamt keimten 904 von 4395 ausgesäten Eicheln. In guten Keimjahren betrug die Keimrate zwischen 30 und 50%, die mittlere Keimrate von 21% lag allerdings unter dem üblichen Wert von 40% (Burger 1944) bzw. deutlich unter dem von Nilsson et al. (1996) an *Q. robur* beobachteten Optimum von 70%. Ursache für die niedrigen Keimraten waren in erster Linie Mäusefraß und Vitalitätsverluste der Eicheln während der Überwinterung.

Nach erfolgter Keimung ging bis zur Selektion der mistelempfänglichen Exemplare ein relativ großer Anteil wachsender Eichen verloren, weil Mäuse im Winter die Wurzelrinde abnagten. Daneben könnte sich auch Konkurrenz unter den auf den Saatplätzen zu dicht stehenden Eichen nachteilig ausgewirkt haben.

Jeweils nach der Selektion der ersten mistelempfänglichen Eiche wurden die übrigen Bäume vom jeweiligen Saatplatz entfernt, um das Wachstum der Misteleiche zu fördern. Durch diesen Eingriff wurden auch potentiell mistelempfängliche Eichen eliminiert, die Quote für mistelempfängliche Eichen also künstlich gesenkt.

Im Frühjahr 2005, 15 Jahre nach der ersten Aussaat im Herbst 1990, wuchs auf 94 von ursprünglich 120 besäten Plätzen noch mindestens eine Eiche. Auf 26 am Waldrand oder in der Nähe von Mäuse-Nestern im Grünland gelegenen Saatplätzen konnte sich trotz mehrfacher Nachsaat keine junge Eiche entwickeln. Auf insgesamt 48 Saatplätzen, also 40%

der ursprünglich besäten Plätze bzw. 51% der Saatplätze mit wachsenden Eichen wuchs im April 2005 mindestens eine misteltragende Eiche. Auf einigen Plätzen wurden gleichzeitig bis zu drei Eichen als mistelempfänglich selektiert, was insgesamt 63 mistelempfängliche Eichen ergab. Beim jeweiligen Zeitpunkt der Selektion standen auf den 48 Plätzen insgesamt 223 Eichen, so daß sich eine mittlere Quote von 28% mistelempfänglicher Eichen ermitteln ließ. Dieser Wert lag über früher ermittelten Durchschnittswerten von 10 bis 25% für die Selektion von Misteleichen aus der Baumschulanzucht (Ramm et al. 2000).

Von der Aussaat der Eicheln bis zur Selektion mistelempfänglicher Eichen vergingen im Mittel 7 Jahre, das Minimum lag bei 4, das Maximum bei 12 Jahren (Tab. A-26; Tab. A-27). Für die 26 Misteleichen auf Erstsaatplätzen betrug die mittlere Selektionsdauer 6.6 Jahre.

Die erfolgreiche Nachsaat im Frühjahr 1994 führte nach durchschnittlich 7.5 Jahren auf 16 von 32 besäten Plätzen (= 50%) zu mistelempfänglichen Eichen (Tab. A-27); dies könnte mit der Abstammung des Saatgutes von der als "Q1" bezeichneten misteltragenden französischen Muttereiche zusammenhängen, woraus auf 14 weiteren, also insgesamt 30 Saatplätzen Misteleichen selektiert wurden (Tab. A-26 und Tab. A-27).

Im Herbst 1990 ausgesäte Misteleichen (Abb. 4.35) hatten im April 2005 eine mittlere Höhe von 5 m und einen mittleren Stammumfang von 400 mm. Da am Stamm junger Eichen wachsende Misteln entfernt wurden, um das Wachstum der Bäume nicht zu beeinträchtigen, trugen die ältesten direkt gesäten Misteleichen auch 2005 nur wenige, meist kleine oder mittlere Mistelbüsche und waren noch nicht zu beernten.



Abb. 4.35: Misteltragende Eiche (*Quercus robur*) am Standort Rotenburg

Aussaat: Oktober 1990, Aufnahme: April 2003.

4.5 Potentiell toxische Elemente in Eichenmisteln

Da niedrige pH-Werte im Boden ein Hauptmerkmal natürlicher Eichenmistel-Standorte und in der Eichenmistel-Kultivering ein Zielkriterium für optimale Vitalität von Eichen und Produktivität von Misteln darstellten, war zu prüfen, in welchem Ausmaß die Eichenmistel potentiell toxische Elemente aufnimmt, deren Pflanzenverfügbarkeit durch niedrige pH-Werte gefördert wird (Mengel und Kirkby 1982, Bergmann 1993). Tabelle 4.62 zeigt die deskriptive Statistik für die Gehalte an Al, Pb, Ni, Cr und Cd in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten, die im Juni und im Oktober beprobt wurden. Die mittleren Gehalte dieser potentiell toxischen Elemente lagen in einem für höhere Pflanzen als üblich angesehenen Rahmen (Alloway 1999).

Mehrere Proben wiesen Pb-, Ni-, Cr- und Cd-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze von 0.09 mg kg^{-1} auf. Auch die Maxima von 6.9 bzw. 10.2 mg kg^{-1} Pb in Eichenblättern bzw. Eichenmisteln lagen unter der kritischen Konzentration von 30 mg kg^{-1} Pb (Alloway 1999) bzw. der als toxisch angenommenen Konzentration von 50 mg kg^{-1} Pb (Bergmann 1993). Dagegen reichte der maximale Ni-Gehalt in Eichenmisteln von 7.4 mg kg^{-1} nahe an die untere Grenze des als kritisch angesehenen Bereiches ($> 8 \text{ mg kg}^{-1}$ Ni), bei dem nach Alloway (1999) Kulturpflanzen mit Ertragsminderungen reagieren.

Tab. 4.62: Deskriptive Statistik für die Gehalte (mg kg^{-1}) an potentiell toxischen Elementen in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Juni und Oktober

		Eichenblätter					Eichenmisteln				
		Al	Pb	Ni	Cr	Cd	Al	Pb	Ni	Cr	Cd
n		29	21	21	21	21	33	22	22	22	22
Minimum	mg kg^{-1}	14.0	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09	43.0	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
Maximum	mg kg^{-1}	219	6.90	3.85	1.70	1.80	266	10.20	7.40	0.54	1.30
Mittelwert	mg kg^{-1}	107	2.03	1.21	0.48	0.28	123	2.50	2.20	0.19	0.21
CV	%	49.8	116	94.5	96.9	143	44.3	105	100	77.0	140

Ni und Pb wurden von Eichenmisteln gegenüber den Eichenblättern (=100%) mit 255 bzw. 284 % am stärksten angereichert, gefolgt von Al (170%) und Cd (134%). Die Cr-Gehalte in Eichenmisteln waren niedriger als in Eichenblättern (Tab. 4.63), was eine ähnlich begrenzte Verlagerung von Cr in die Mistel vermuten ließ, wie sie bereits für die Spurenelemente Fe und Mo festgestellt wurde (Tab. 4.25, Abb. 4.10; Tab. A-14).

Tab. 4.63: Deskriptive Statistik für die Verlagerung potentiell toxischer Elemente in die Eichenmistel, verglichen mit Eichenblättern (=100%) von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Juni und Oktober

		Al	Pb	Ni	Cr	Cd
n		29	21	21	21	21
Minimum	%	42.2	4.1	12.3	5.3	5.0
Maximum	%	662	3411	833	256	767
Mittelwert	%	159	284	256	73.0	139
CV	%	87.4	255	90.2	94.6	124

Die Prüfung auf statistische Sicherheit ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Juni- und Oktoberproben (Tab. A-28); im Juni wurden Al, Pb, Ni und Cd jedoch tendenziell stärker und Cr schwächer in die Eichenmistel verlagert als im Oktober (Tab. A-30).

Zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten ließ sich im Gehalt an Al, Pb, Ni, Cr und Cd in Eichenblättern und -misteln (Tab. A-29) und in der Anreicherung von Al, Pb, Ni sowie Cd durch Eichenmisteln (Tab. 4.64) kein signifikanter Unterschied feststellen. Eine Ausnahme bildete Cr, das in Eichenmisteln von natürlichen Standorten nur 43% vom Gehalt in Eichenblättern erreichte, also nur begrenzt in die Mistel verlagert wurde, während auf kultivierten Standorten eine leichte Anreicherung von 112% (Tab. 4.64) und ein (nicht signifikant) höherer Cr-Gehalt in Eichenmisteln vorlagen (Tab. A-29).

Tab. 4.64: Mittelwerte für die Verlagerung (%) potentiell toxischer Elemente in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern (=100%) und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten

Standorte	Al	Pb	Ni	Cr	Cd
natürlich	137a	390a	230a	43.4a	98.9a
kultiviert	208a	143a	289a	112b	193a

Signifikante Unterschiede im Gehalt an potentiell toxischen Elementen traten zwischen Standorten mit sauren bzw. basischen Böden auf (Tab. 4.65). Al, Pb und Ni waren in Eichenblättern und Eichenmisteln von Standorten mit sauren Böden höher konzentriert als von Standorten mit basischen Böden. Die Anreicherung potentiell toxischer Elemente in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern war nicht signifikant, tendenziell wurden jedoch Al, Pb sowie Ni in Eichenmisteln von sauren Standorten stärker angereichert und Cr sowie Cd stärker ausgeschlossen als in Eichenmisteln von basischen Standorten (Tab. A-30).

Tab. 4.65: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) potentiell toxischer Elemente in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden

Bodenreaktion		Eichenblätter					Eichenmistel				
		Al	Pb	Ni	Cr	Cd	Al	Pb	Ni	Cr	Cd
basisch	Mittelwert	89.9a	0.68a	0.47a	0.26a	0.10a	96.4a	0.75a	1.00a	0.19a	0.25a
sauer	Mittelwert	116 a	2.91b	1.53b	0.63a	0.40a	142 b	3.67b	3.43b	0.20a	0.21a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Die Korrelationsmatrix für signifikante lineare Beziehungen zwischen dem Gehalt an potentiell toxischen Elementen im Juni beprobter Eichenmisteln und den Bodenparametern natürlicher und kultivierter Standorte zeigt für Pb und Ni signifikante negative Beziehungen mit dem pH-Wert sowie dem Humus-, Ca_{extr} - und P_{Citr} -Gehalt. Signifikant positiv waren ferner die Pb- und Ni-Gehalte in Eichenmisteln mit den Mn_{extr} -, Fe_{extr} - und Cu_{extr} -Gehalten im Boden korreliert (Tab. 4.66).

Tab. 4.66: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen dem Gehalt an potentiell toxischen Elementen in Eichenmisteln und Bodenparametern von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Juni

		Potentiell toxische Elemente in Eichenmisteln			
		Al	Pb	Ni	Cr
Bodenparameter	OS	n.s.	-0.78	-0.66	n.s.
	pH_{H2O}	n.s.	-0.68	-0.74	n.s.
	pH_{KCl}	n.s.	-0.70	-0.78	n.s.
	P_{Citr}	n.s.	-0.77	-0.59	n.s.
	Ca_{extr}	n.s.	-0.80	-0.74	n.s.
	Fe_{extr}	n.s.	0.66	0.63	n.s.
	Mn_{extr}	n.s.	0.82	0.69	n.s.
	Zn_{extr}	0.50	n.s.	n.s.	0.58
	Cu_{extr}	n.s.	0.62	0.82	n.s.

Während in der Literatur beschrieben wird, daß auf Böden mit pH-Werten unter 5.0 eine erhöhte Al-Verfügbarkeit zu höheren Al-Gehalten in Pflanzen führt (Bergmann 1993), zeigten die untersuchten Eichenmisteln auf Böden mit pH_{KCl} -Werten unterhalb von 5.0 tendenziell abnehmende Al-Gehalte. Ein Polynom mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0.40$ beschrieb die allerdings schwach ausgeprägte Beziehung besser als der lineare Trend (Abb. 4.36).

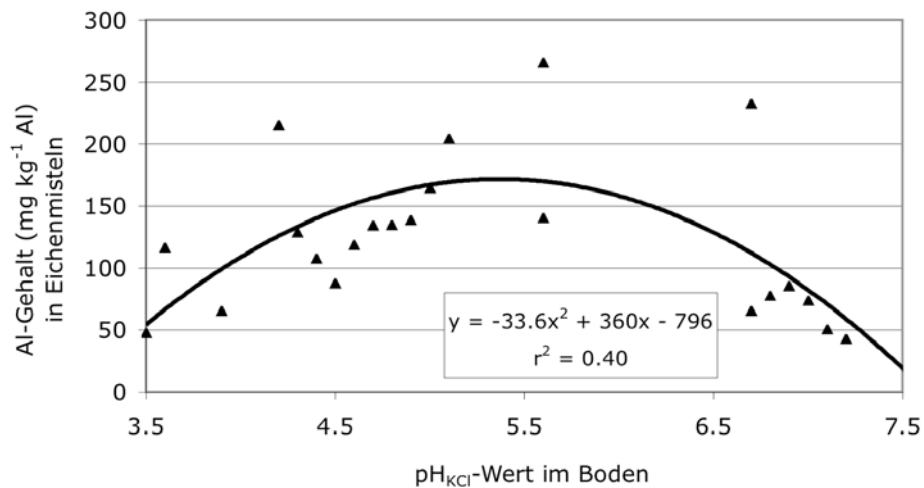


Abb. 4.36: Beziehung zwischen dem pH_{KCl} im Boden und dem Al-Gehalt in Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Standorten im Juni

Der Gehalt an Pb bzw. Ni im Juni beprobter Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten lag umso höher, je niedriger der pH-Wert im Boden natürlicher und kultivierter Eichenmistel-Standorte war (Abb. 4.37).

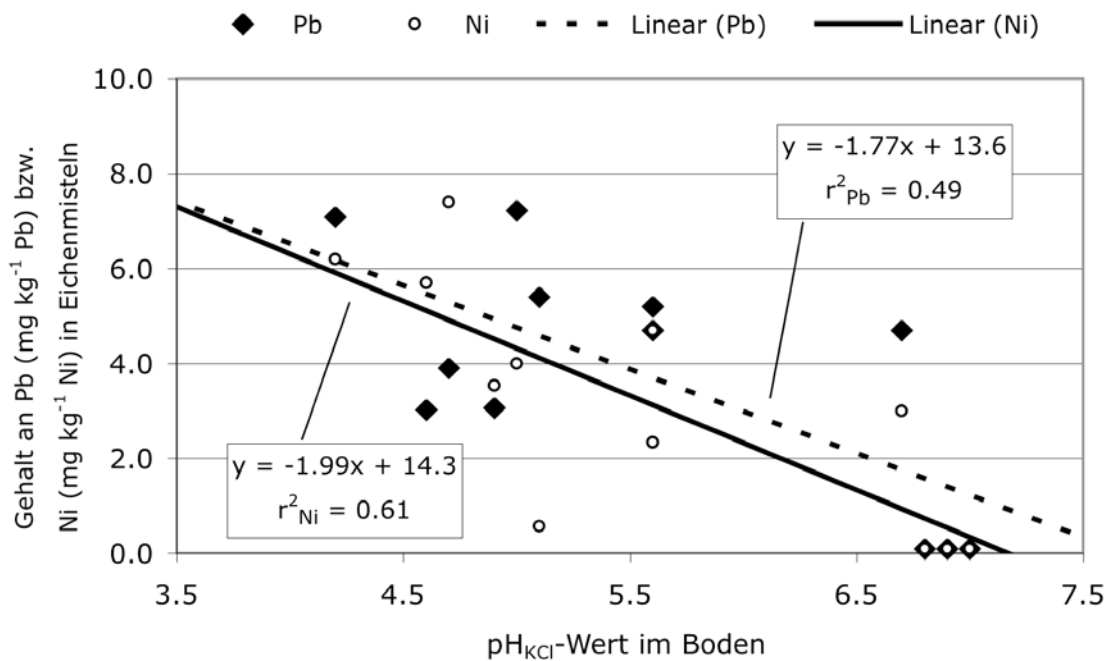


Abb. 4.37: Beziehung zwischen dem pH_{KCl}-Wert im Boden und dem Pb-Gehalt bzw. dem Ni-Gehalt in Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Juni

4.6 Wirtsspezifische Mineralstoff-Verhältnisse in Mistelpräparaten

4.6.1 Mineralstoff-Gehalte im pharmazeutischen Endprodukt (Iscador®)

Das pharmazeutische Endprodukt aus Eichenmisteln (Iscador® quercus) unterschied sich am deutlichsten von den anderen wirtsspezifischen Iscador®-Sorten (Tab. 4.67). Dies betraf insbesondere die Fe-, Mn- und Na-Gehalte, die im Iscador® quercus signifikant höher waren als in den pharmazeutischen Endprodukten aus Tannenmistel (Iscador® abietis), Apfelmistel (Iscador® mali), Kiefernmistel (Iscador® pini) sowie Ulmenmistel (Iscador® ulmi).

Tab. 4.67: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für den Gehalt (mg l^{-1}) an Mineralstoffen in wirtsspezifischen Mistelextrakten (Iscador®)

Iscador®	Wirt	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	Al
n		5	5	7	5	5	7	5	5	5	5	5
abietis	Tanne	139 ^b	1072 ^b	67.7 ^c	82.6 ^b	0.64 ^c	10.2 ^b	3.7 ^{ac}	0.3 ^b	0.3 ^d	4.0 ^b	3.3 ^a
mali	Apfel	130 ^b	1345 ^c	10.0 ^b	106 ^a	1.00 ^b	0.4 ^c	2.6 ^b	0.5 ^{ab}	1.1 ^b	6.4 ^b	0.1 ^b
pini	Kiefer	116 ^b	1659 ^a	38.5 ^a	104 ^{ac}	0.78 ^{bc}	0.2 ^c	4.7 ^a	0.4 ^b	0.4 ^d	6.7 ^b	0.4 ^b
quercus	Eiche	121 ^b	1369 ^c	12.5 ^b	89.0 ^{bc}	1.76 ^a	15.3 ^a	2.5 ^b	0.7 ^a	0.7 ^c	18.5 ^a	0.4 ^b
ulmi	Ulme	196 ^a	1084 ^b	52.9 ^{ac}	110 ^a	0.82 ^{bc}	0.4 ^c	2.9 ^{bc}	0.3 ^b	1.4 ^a	4.8 ^b	0.1 ^b

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; Angaben zur pharmazeutischen Verarbeitung der Mistel zu Iscador finden sich in Kap. 3.6 (Material und Methoden).

Der Mn-Gehalt war in Iscador® quercus mit 15.3 mg l^{-1} Mn etwa 40 Mal höher als in Iscador® mali und Iscador® ulmi bzw. 80 Mal höher als in Iscador® pini. Iscador® abietis wies mit 10.2 mg l^{-1} Mn einen erhöhten Mn-Gehalt auf, der jedoch signifikant niedriger war als der Mn-Gehalt von Iscador® quercus (Tab. 4.67; Abb. 4.38).

Verglichen mit dem Gehalt anderer Hauptelemente war der Ca-Gehalt in den fünf Iscador®-Sorten niedrig (Tab. 4.67) und im Eichenmistel-Präparat sogar niedriger als der Mn-Gehalt. Während Iscador® abietis und Iscador® ulmi (68 bzw. 60 mg l^{-1} Ca) die höchsten Ca-Gehalte hatten, gefolgt von Iscador® pini mit 39 mg l^{-1} , wiesen Iscador® quercus und Iscador® mali mit 12.5 bzw. 10.0 mg l^{-1} besonders niedrige Ca-Gehalte auf.

Iscador® quercus zeichnete sich gegenüber den anderen Iscador®-Sorten aufgrund hoher Mn- und niedriger Ca-Gehalte durch einen Mn:Ca-Quotient > 1.0 aus, was den Unterschied zu Iscador® abietis (Mn:Ca = 0.15) bezüglich Mn noch deutlicher werden ließ (Abb. 4.39).

Iscador® quercus hatte den höchsten Fe-Gehalt (1.7 mg l^{-1} Fe) und unterschied sich darin signifikant von den anderen vier Iscador®-Sorten (Tab. 4.67; Abb. 4.40).

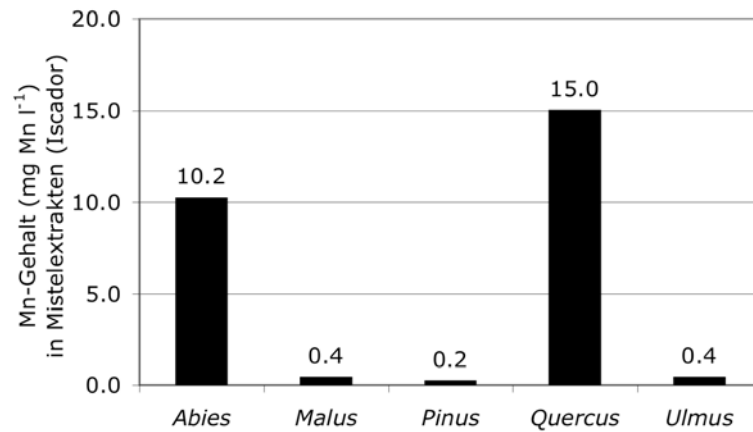


Abb. 4.38: Mittlere Mn-Gehalte (mg l⁻¹ Mn) in Extrakten (Iscador®) aus Misteln von den Wirtsbäumen *Abies*, *Malus*, *Pinus*, *Quercus* und *Ulmus*

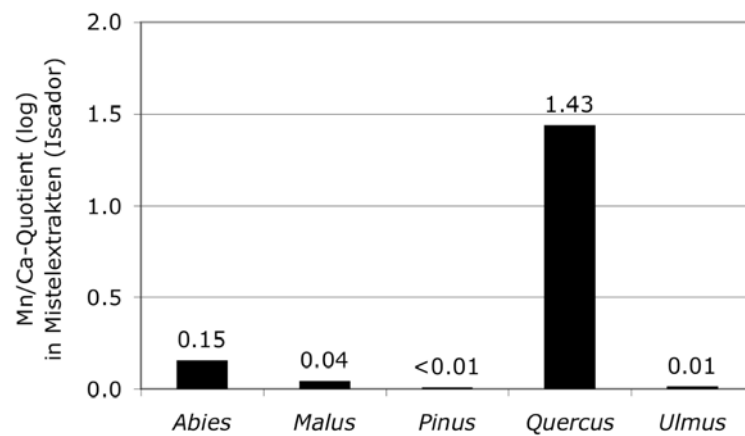


Abb. 4.39: Mn:Ca-Verhältnis in Misteleextrakten (Iscador®) von den Wirtsbäumen *Abies*, *Malus*, *Pinus*, *Quercus* und *Ulmus*

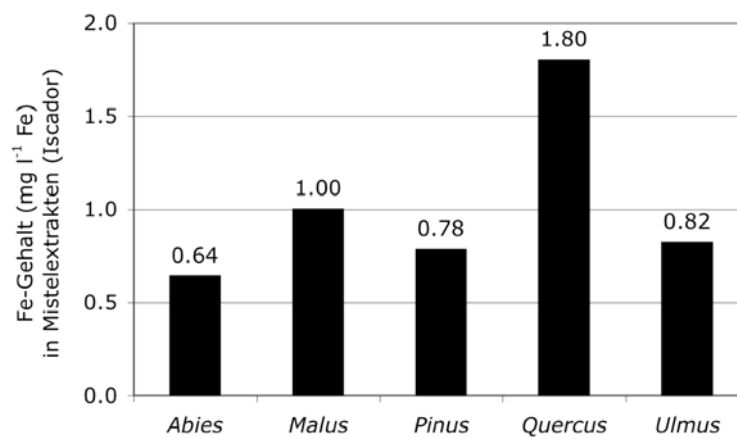


Abb. 4.40: Mittlere Fe-Gehalte (mg l⁻¹ Fe) in Extrakten (Iscador®) aus Misteln von den Wirtsbäumen *Abies*, *Malus*, *Pinus*, *Quercus* und *Ulmus*

Der Na-Gehalt im Iscador quercus war mit $18.5 \text{ mg l}^{-1} \text{ Na}$ drei- bis viermal höher als in den anderen wirtsspezifischen Iscador-Sorten, die sich nicht signifikant voneinander unterschieden (Tab. 4.67; Abb. 4.41).

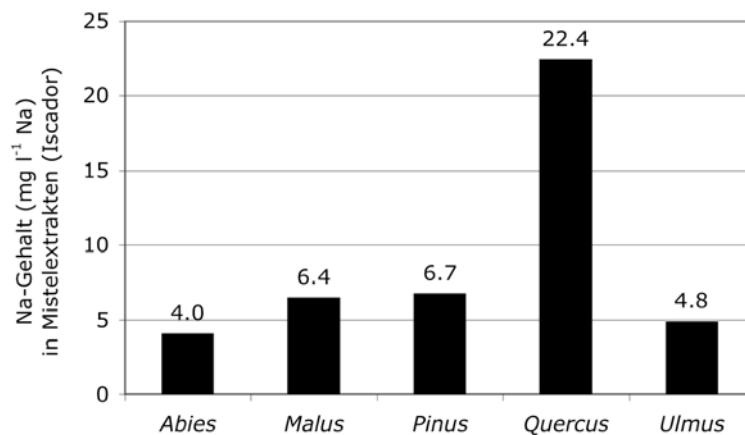


Abb. 4.41: Mittlere Na-Gehalte ($\text{mg l}^{-1} \text{ Na}$) in Extrakten (Iscador®) aus Misteln von den Wirtsbäumen *Abies*, *Malus*, *Pinus*, *Quercus* und *Ulmus*

Im K-Gehalt bestanden zwischen den wirtsspezifischen Iscador®-Sorten signifikante Unterschiede (Tab. 4.67). Einzig Iscador® quercus und Iscador® mali waren mit mittleren K-Gehalten nicht zu unterscheiden. Iscador® pini hatte mit 1660 mg l^{-1} den höchsten K-Gehalt; Iscador® ulmi und Iscador® abietis enthielten mit 1084 bzw. 1072 mg l^{-1} am wenigsten K.

Die P- bzw. Mg-Gehalte in Iscador®-Präparaten erreichten nur 10% des K-Gehaltes (Tab. 4.67). Iscador® quercus unterschied sich nur von Iscador® ulmi, das den höchsten P-Gehalt aufwies und auch von den anderen Iscador®-Sorten signifikant verschieden war. Iscador® quercus hatte einen ähnlich niedrigen Mg-Gehalt wie Iscador® abietis und war nur von Iscador® ulmi signifikant zu unterscheiden, das den höchsten Mg-Gehalt aufwies (Tab. 4.67).

Die Zn-Gehalte waren in Iscador® aus Nadelholzmisteln (Iscador® abietis und pini) signifikant höher als im Iscador® aus Laubholzmisteln (Iscador® mali, quercus und ulmi) (Tab. 4.67). Iscador®-Präparate aus Laubholzmisteln (Iscador® mali, quercus und ulmi) wiesen dagegen signifikant höhere B-Gehalte auf als Iscador®-Präparate von Nadelholzmisteln (Iscador® abietis und pini) (Tab. 4.67).

Der Cu-Gehalt lag im Iscador® quercus signifikant höher als in Iscador® abietis, pini und ulmi, ließ sich jedoch nicht vom Cu-Gehalt im Iscador® mali unterscheiden (Tab. 4.67).

Auffallend war ferner der im Vergleich zu den anderen wirtsspezifischen Iscador®-Sorten signifikant erhöhte Al-Gehalt im Iscador® abietis (Tab. 4.67).

4.6.2 Mineralstoff-Gehalte in Extrakten aus Sommer- und Wintermisteln

Tabelle 4.68 zeigt die Mineralstoff-Gehalte in Extrakten aus Sommer- und Wintermisteln. Mistel-Extrakte von Eiche und Tanne zeigten im Mn-Gehalt gegenläufige Trends: Aus Eichenmisteln ging im Sommer mehr Mn in den flüssigen Extrakt über als im Winter, bei Tannenmisteln fand sich im Winter-Extrakt mehr Mn als im Sommer-Extrakt. Unterschiede im Mn-Gehalt von Sommer- bzw. Wintermistel-Extrakten waren nicht signifikant (Tab. 4.68).

Tab. 4.68: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Mineralstoff-Gehalte (mg l^{-1}) in Extrakten aus Sommer- und Wintermisteln von den Wirtsbäumen *Abies*, *Malus*, *Pinus*, *Quercus* und *Ulmus*

Wirt	Extrakt	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Na	Al
<i>Abies</i> (Tanne)	Sommer	315a	2810a	68.0a	187a	1.75a	25.0a	6.70a	0.35a	0.85a	8.6a	5.15a
	Winter	449a	2590a	252 b	239a	1.95a	66.0a	9.35a	0.55a	1.15a	15.0a	10.7 b
<i>Malus</i> (Apfel)	Sommer	298a	5638a	3.0a	286a	3.50a	0.1a	3.00a	0.35a	3.05a	15.1a	0.10a
	Winter	350a	2719a	180 b	242a	1.00b	0.2a	2.30a	0.20a	3.10a	7.8a	0.10a
<i>Pinus</i> (Kiefer)	Sommer	330a	4821a	37.1a	260a	2.60a	0.1a	11.1 a	1.15a	1.65a	12.3a	0.30a
	Winter	274a	3425a	150 b	240a	1.35a	0.3a	8.20a	0.15b	0.90a	8.7a	0.60a
<i>Quercus</i> (Eiche)	Sommer	326a	5455a	2.8a	255a	7.20a	63.2a	3.70a	0.50a	2.35a	57.6a	0.80a
	Winter	273a	2826a	110 b	194a	1.68b	30.6a	2.60a	0.25a	1.10a	37.4a	0.40a
<i>Ulmus</i> (Ulme)	Sommer	605a	3024a	8.3a	360a	4.20a	1.3a	5.45a	0.25a	3.30a	6.5a	0.10a
	Winter	353b	2200a	351 b	229a	0.55b	0.2a	3.55a	0.35a	3.65a	7.1a	0.10a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) zwischen dem Sommer- und Wintermistel-Extrakt für den betreffenden Wirtsb Baum an; $n = 2$, nur bei *Quercus* für Ca, Mn, Fe und Na $n = 4$.

Sommer-Extrakte aus Laubholzmisteln von den Wirtsbäumen *Malus*, *Quercus* und *Ulmus* hatten im Sommer höhere Fe-Gehalte als Winter-Extrakte; Extrakte aus Tannenmisteln (*Abies*) enthielten im Winter mehr Fe als im Sommer (Tab. 4.68).

Der Ca-Gehalt war generell in Extrakten aus Wintermisteln signifikant höher als in Extrakten aus Sommermisteln. In Sommer-Extrakten aus Laubholzmisteln waren die Ca-Gehalte um den Faktor 40 bis 60 niedriger als in Winter-Extrakten, in Sommer-Extrakten aus Nadelholzmisteln dagegen nur um den Faktor 4 (Tab. 4.68; Abb. 4.42).

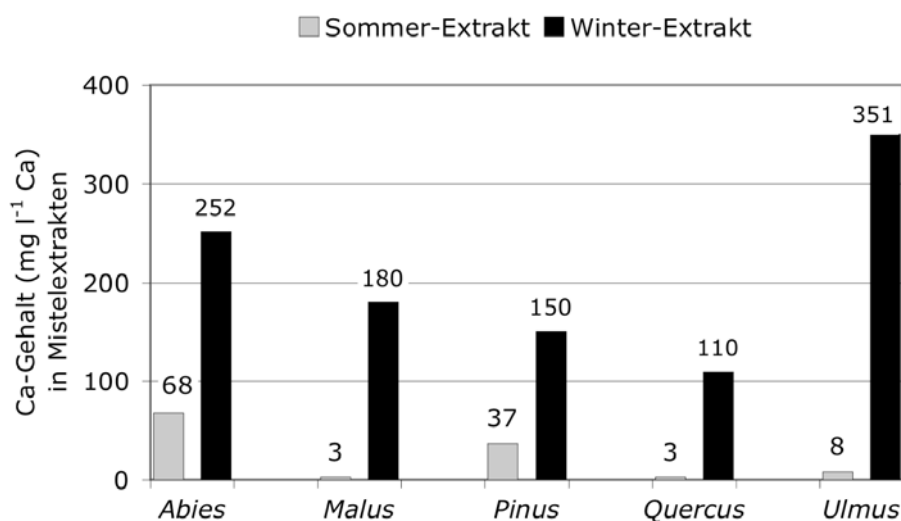


Abb. 4.42: Ca-Gehalte in Sommer- und Winter-Extrakten aus Misteln von den Wirtsbäumen *Abies*, *Malus*, *Pinus*, *Quercus* und *Ulmus*

Ulmenmistel-Extrakte waren im Sommer P-reicher als im Winter, Kiefernmistel-Extrakte enthielten im Sommer mehr Cu als im Winter, und in Tannenmistel-Extrakten war im Sommer mehr Al zu finden als im Winter (Tab. 4.68). Im K-, Mg-, Zn- und Na- Gehalt traten keine signifikanten Unterschiede zwischen Sommer- und Winter-Extrakten auf. Tendenziell gaben Sommermisteln jedoch mehr K und Na in den flüssigen Extrakt ab als Wintermisteln (Tab. 4.68).

Im Winter waren in Extrakten aus Pflanzenteilen (Blätter, Stengel, Kurztriebe, Blütenknospen) von Eichenmisteln die Ca- und Fe-Gehalte signifikant höher als in Extrakten aus Mistelbeeren (Früchte ohne Kurztriebe). Der Mn-Gehalt war in Pflanzen-Extrakten aus Eichenmisteln etwa 5 Mal höher als in Beeren-Extrakten, der Na-Gehalt dagegen in Beeren-Extrakten etwa doppelt so hoch wie in Pflanzen-Extrakten; aufgrund von Gehalts-Schwankungen waren die Unterschiede in beiden Fällen jedoch nicht signifikant (Tab. 4.69).

Tab. 4.69: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für den Gehalt (mg l⁻¹) an Ca, Fe, Mn und Na in Pflanzen- bzw. Beeren-Extrakten aus Eichenmisteln

Extrakt aus	Ca	Fe	Mn	Na
Eichenmistel-Pflanze	114 ^a	1.73 ^a	35.7 ^a	31.8 ^a
Eichenmistel-Beeren	53.3 ^b	0.67 ^b	5.70 ^a	58.2 ^a

Erläuterungen: n = 3 (Winterverarbeitung 1992, 2003 und 2004); verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Im Preßrückstand, der nach der Extraktion verworfen wurde, ergaben Einzelbestimmungen jeweils im Sommer höhere Ca- und Mn-Gehalte als im Winter (Pflanzen-Extrakt); die Ca-Gehalte im Preßrückstand waren dabei um den Faktor 40 (Eichenmistel) bis 100 (Apfel-, Kiefernmistel) höher als die Mn-Gehalte (Tab. 4.70).

Tab. 4.70: Ca-, Mn- und Fe-Gehalte im Preßrückstand fermentierter 50%iger Pflanzenansätze aus Sommer- und Wintermistel von den Wirtsbäumen *Malus*, *Pinus* und *Quercus*

	Ca		Mn		Fe	
Wirt	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter
	g kg ⁻¹ TS		mg kg ⁻¹ TS			
<i>Malus</i>	19.3	13.2	27.1	13.3	33.3	38.0
<i>Pinus</i>	15.7	10.0	16.8	11.9	61.5	58.2
<i>Quercus</i>	18.2	14.7	499	177	69.9	56.7

Erläuterung: Daten aus Einzelbestimmungen der Sommer- bzw. Winter-Verarbeitung 1993

Um abzuschätzen, in welchem Ausmaß in Eichenmisteln vorhandene Mineralstoffe in den flüssigen Extrakt übergangen, wurden die Gehalte im Sommer-Extrakt bzw. im Winter-Pflanzen-Extrakt mit den mittleren Gehalten im Juni bzw. Dezember beprobter Eichenmisteln (Tab. 4.19, Tab. 4.20) verglichen. Im Sommer-Extrakt lag der extrahierte Anteil für K, Zn und Mg mit 20 bis etwa 30% am höchsten, gefolgt von P, Na, Fe, Mn und B mit 10 bis 20%. Der extrahierte Anteil für Cu (5%) und Al (1%) war gering. Besonders auffallend war der extrem niedrige Ca-Anteil im Sommer-Extrakt, der lediglich 0.04% des Gehaltes im Juni beprobter Eichenmisteln ausmachte (Abb. 4.43).

Im Winter-Pflanzen-Extrakt lag der Ca-Anteil mit 1.5% des mittleren Ca-Gehaltes im Dezember beprobter Eichenmisteln deutlich höher als im Sommer-Extrakt. Auch die Anteile für Mg und Cu waren im Winter-Pflanzen-Extrakt höher als im Sommer-Extrakt. Die Anteile für P, K, Fe, Mn, Zn, B und Na waren dagegen im Winter-Pflanzen-Extrakt niedriger als im Sommer-Extrakt (Abb. 4.43).

Da keine gesonderte Beprobung von Eichenmistel-Beeren durchgeführt worden war, konnten die Mineralstoff-Gehalte im Eichenmistelbeeren-Extrakt nicht bezüglich des extrahierten Anteiles eingeordnet werden.

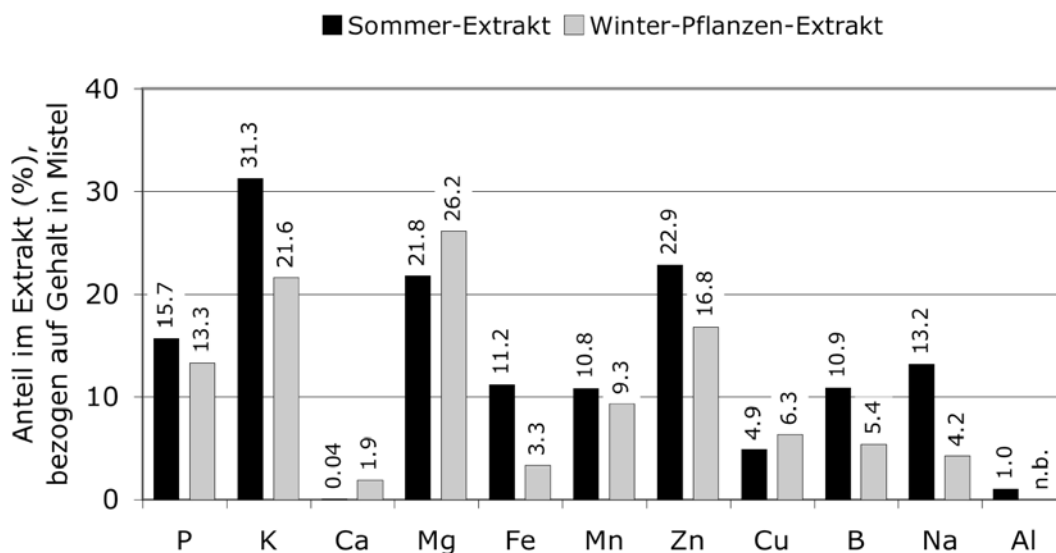


Abb. 4.43: Mineralstoff-Anteil in Extrakten aus Eichenmisteln, bezogen auf Mineralstoff-Gehalte im Juni bzw. Dezember beprobter Eichenmisteln von natürlichen Standorten

Erläuterungen: Sommer-Extrakt (%) = [Mineralstoff-Gehalt in Sommer-Extrakt * Mineralstoff-Gehalt im Juni beprobter Eichenmisteln⁻¹] * 100; Winter-Extrakt: [Mineralstoff-Gehalt in Winter-Pflanzen-Extrakt * Mineralstoff-Gehalt im Dezember beprobter Eichenmmisteln⁻¹] * 100.

4.6.3 Mineralstoff-Gehalte in Misteln von verschiedenen Wirtsbäumen

Die Blätter von Apfel und Ulme enthielten in Stichproben von Standorten mit sauren bzw. basischen Böden deutlich weniger Mn als Eichenblätter von Standorten mit basischen bzw. sauren Böden (Tab. 4.71).

Tab. 4.71: Mn-Gehalte (mg kg⁻¹) in Blättern und Nadeln der Mistelwirte *Abies*, *Malus*, *Quercus* und *Ulmus* von natürlichen und kultivierten Standorten und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Standorten mit sauren und basischen Böden

Standorte mit	n	Malus	n	Quercus	n	Ulmus
sauren Böden	1	49.2	37	644a	2	55.1a
basischen Böden	1	36.5	17	148a	2	19.2a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Auch die in größerem Umfang untersuchten Misteln von Apfel und Ulme wiesen im Vergleich zu Eichenmisteln sehr wenig Mn auf; die Mittelwerte lagen selbst auf Standorten mit sauren Böden unter 40 mg kg⁻¹ Mn. Eichenmisteln hatten im Vergleich dazu auf Standorten mit basischen Böden (pH_{H2O} > 7.0) mittlere Gehalte von 210 mg kg⁻¹ Mn und auf Standorten mit sauren Böden von 856 mg kg⁻¹ Mn (Abb. 4.44).

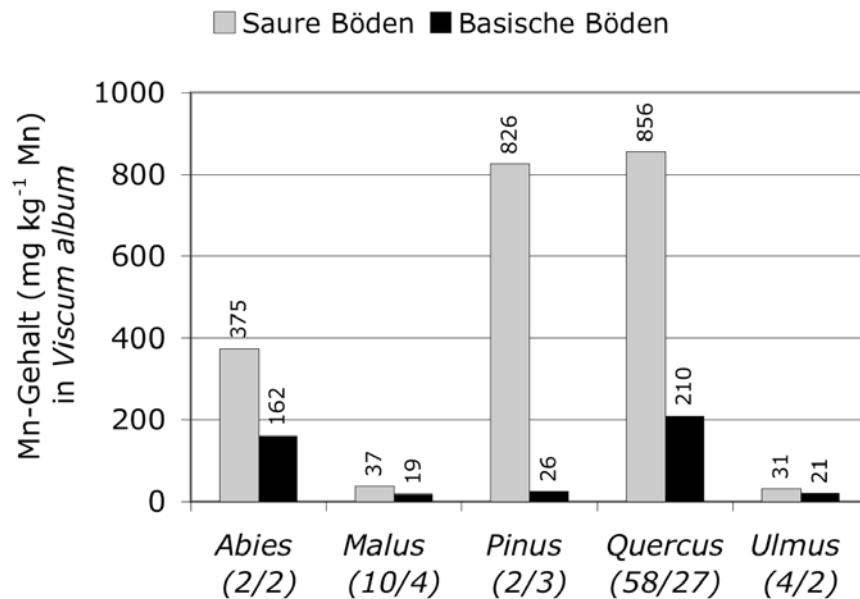


Abb. 4.44: Mn-Gehalt in Misteln (*Viscum album*) von verschiedenen Wirten (*Abies*, *Malus*, *Pinus*, *Quercus* und *Ulmus*) auf natürlichen und kultivierten Standorten mit sauren bzw. basischen Böden

Erläuterung: Die Werte in Klammern geben die Anzahl Proben auf sauren bzw. basischen Böden an.

Junge Kiefernmisteln vom Standort Rotenburg, der einen sauren Boden ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5.3$) aufwies (Tab. A-15b) hatten mit 826 mg kg^{-1} Mn ähnlich hohe Mn-Gehalte wie Eichenmisteln (Abb. 4.44). Im Vergleich dazu waren die Mn-Gehalte in pharmazeutischen Extrakten aus Kiefernmisteln sehr niedrig (Tab. 4.67; Tab. 4.68). Dies könnte mit der basischen Bodenreaktion auf den regelmäßig beernteten Kiefernmistel-Standorten in Südfrankreich zusammenhängen, wie sich aus einer Stichprobe mit einem pH_{KCl} -Wert von 7.2 und sehr niedrigen Mn_{extr} - und Fe_{extr} -Gehalten im Boden ableiten ließ (Tab. A-31).

Tannenmisteln vom Standort *Himmelried*, der einen sauren Boden ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5.4$) aufwies (Tab. A-15b), hatten mit 375 mg kg^{-1} gegenüber Apfel- und Ulmenmisteln erhöhte Mn-Gehalte, ohne jedoch die hohen Mn-Gehalte in Kiefernmisteln zu erreichen (Abb. 4.44).

5 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluß bodenchemischer Standortfaktoren auf Wachstum und pharmazeutische Qualität der Eichenmistel (*Viscum album* auf *Quercus robur* und *petraea*) zu charakterisieren. Hierzu wurden Boden- und Pflanzenanalysen an Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten durchgeführt, die Aussagen über die boden- und wirtsbaum-abhängigen Mineralstoff-Verhältnisse in der Eichenmistel ermöglichen sollten. Durch den Vergleich mit entsprechenden Parametern von kultivierten Eichenmistel-Standorten sollten Rückschlüsse für die Optimierung der Eichenmistel-Kultivierung gezogen werden. Ausgehend von der "kalk-induzierten Chlorose" und der "überraschenden Mistelempfänglichkeit" auf zwei kultivierten Eichenmistel-Standorten wurde in Freilanduntersuchungen und in Gefäßversuchen geprüft, wie das Wachstum von Eichen durch Mn- und Fe-Mangel auf basischen Böden beeinflusst wird. Ferner wurde untersucht, ob saure Böden in Eichenmisteln zu erhöhten Gehalten an potentiell toxischen Elementen führen. Mineralstoffanalysen in pharmazeutischen Mistel-Extrakten galten schließlich der Frage, in welchem Umfang die pharmazeutische Qualität von Eichenmisteln neben einer wirtsspezifischen Prägung auch von den Bodeneigenschaften der Ernte-Standorte beeinflusst wird.

5.1 Mineralstoff-Verhältnisse auf natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten

5.1.1 Zeitlich, räumlich und genetisch bedingte Variationen

Kritisch anzumerken ist, daß die von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten in verschiedenen Jahren und Monaten ermittelten Untersuchungsergebnisse neben den im Mittelpunkt stehenden räumlich bzw. genetisch bedingten Standortfaktoren auch von zeitlichen Variationsursachen beeinflusst wurden. Orgeas et al. (2002) stellten an Korkeichen (*Q. suber*) fest, daß zeitlich bedingte Variationsursachen einen stärkeren Einfluß auf die Nährstoffdynamik hatten als räumliche. Im Vordergrund stand dabei die Entwicklung der zweijährigen Blätter (Entfaltung, Überwinterung, Seneszenz). Daneben waren auch klimatisch bedingte Zeitfaktoren (eingeschränkte Transpiration der Blätter im Sommer, begrenzte Nährstoffverfügbarkeit im Boden in trockenen Wintern) von Bedeutung.

Die vorliegenden Untersuchungen bestätigten die Bedeutung dieser Faktoren insofern, als zeitlich bedingte Variationsursachen zwischen den Beprobungsjahren (Tab. 4.9, Tab. 4.10, Tab. 4.17, Tab. 4.18) und Beprobungsmonaten (Tab. 4.11, Tab. 4.12, Tab. 4.19, Tab. 4.20)

häufiger zu signifikanten Unterschieden im Mineralstoff-Gehalt der Eichenblätter und Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten führten als a) räumlich bedingte Ursachen zwischen sauren und basischen Böden (Tab. A-5, Tab. 4.13, Tab. A-10, Tab. A-11) und b) genetisch bedingte Ursachen zwischen den Eichenarten (Tab. A-6, Tab. A-7, Tab. A-12, Tab. 4.21) sowie Ernte- und Saateichen (Tab. A-8, Tab. A-9, Tab. 4.22, Tab. 4.23).

Aus der Übersicht in Tabelle 5.1 geht hervor, daß räumlich bedingt nur ein signifikanter Unterschied auftrat, indem der Mn-Gehalt in Eichenblättern auf Standorten mit sauren Böden höher war als auf Standorten mit basischen Böden (Tab. 4.13). Allerdings war auch die scheinbar zeitlich bedingte Variation im Mn-Gehalt räumlich bedingt, da der 1989 im Vergleich zu 1991 signifikant niedrigere Mn-Gehalt in Eichenblättern (Tab. 4.12) mit erhöhten pH-Werten in den Böden der 1989 beprobten Standorte einherging (Tab. 4.5). Unterschiedliche Beprobungsmonate (Tab. 4.12) sowie genetisch bedingte Variationen zwischen den Eichenarten (Tab. A-7) und zwischen Ernte- bzw. Saateichen (Tab. A-9) hatten dagegen keinen Einfluß auf den Mn-Gehalt der Eichenblätter (Tab. 5.1).

Der Mn-Gehalt in den zweijährigen Sproßorganen natürlicher Eichenmisteln wurde durch zeitlich, räumlich oder genetisch bedingte Variationsursachen nicht beeinflusst (Tab. 5.1).

Zeitlich bedingt zwischen den Beprobungsjahren auftretende signifikante Unterschiede im Fe-Gehalt von Eichenmisteln (Tab. 4.18) hingen mit sehr niedrigen pH-Werten in den Böden der 1991 beprobten natürlichen Eichenmistel-Standorte zusammen (Tab. 4.2), waren also letztlich räumlich bedingt.

Tab. 5.1: Zeitlich, räumlich bzw. genetisch bedingte Variationsursachen für signifikante Unterschiede im Gehalt an Mineralstoffen in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Variation	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
genetisch bedingt													
Eichenart												M	
Saat-/Ernteeichen		M										M	
räumlich bedingt													
Bodenreaktion							E						
zeitlich bedingt													
Monat	E	M	E	E	EM			EM	E		E	M	EM
Jahr	M		EM	E	E	M	E	EM	EM	M		EM	EM

Erläuterung: Großbuchstaben geben Variationen im Mineralstoff-Gehalt von Eichenblättern (E) bzw. Eichenmisteln (M) an.

Bei der Beprobung kultivierter Eichenmistel-Standorte wurden genetisch bedingte Variationen nicht geprüft, weil das geringe Mistelwachstum auf den jungen Misteleichen noch keine Differenzierung zwischen Ernte- und Saateichen zuließ und in diesem Zusammenhang die Eichenart bei der Beprobung nur in Einzelfällen berücksichtigt wurde. Die ab 1990 kultivierten Eichenmistel-Standorte wurden erst in einer zweiten Untersuchungsphase (2003 bis 2005) beprobt, wodurch neben einer zeitlichen Variation auch eine Beschränkung auf die Elemente Ca, Mn und Fe auftrat (siehe Kap 3.5). Insgesamt traten auch auf kultivierten Eichenmistel-Standorten zeitlich bedingt durch das Jahr und den Monat der Beprobung (Tab. A-17; Tab. 4.33, Tab. 4.34; Tab. 4.39; Tab. 4.40; Tab. 4.41; Tab. 4.42) mehr signifikante Unterschiede in den Element-Gehalten auf als räumlich bedingt durch die Bodenreaktion (Tab. 5.2), die den Mn- und B-Gehalt in Eichenblättern (Tab. 4.36) sowie den Mg-Gehalt in Eichenmisteln (Tab. 4.43) beeinflusste.

Tab. 5.2: Zeitlich und räumlich bedingte Variationsursachen für signifikante Unterschiede im Gehalt an Mineralstoffen in Eichenblättern und Eichenmisteln von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Variation	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
räumlich bedingt													
Bodenreaktion					M		E			E			
zeitlich bedingt													
Monat			EM	M		M	M		E				
Jahr	M					M			E				EM

Erläuterung: Großbuchstaben geben Variationen im Mineralstoff-Gehalt von Eichenblättern (E) bzw. Eichenmisteln (M) an.

Allerdings galt auch hier für die besonders auffallend durch Bodenparameter beeinflussten Elemente Mn und Fe, daß scheinbar zeitlich bedingte Unterschiede letzten Endes räumlich bedingte Ursachen hatten. So beruhten Unterschiede zwischen dem Jahr (Tab. 4.40) bzw. dem Monat (Tab. 4.42) der Beprobung im Fe-Gehalt kultivierter Eichenmisteln darauf, daß im April 2004 der Fe-Gehalt nur in zwei Proben bestimmt wurde, die von Standorten mit basischen Böden stammten. Der zwischen Beprobungsmonaten auftretende Unterschied im Mn-Gehalt kultivierter Eichenmisteln (Tab. 4.42) war insofern ebenfalls stärker räumlich als zeitlich abhängig, als die August-Proben von Standorten mit mehrheitlich basischen Böden stammten, im April dagegen von überwiegend sauren Böden.

Auffallend in der Übersicht signifikanter Unterschiede in den Bodenparametern (Tab. 5.3) war, daß der Mn_{extr} -Gehalt in den Böden natürlicher Eichenmistel-Standorte weder durch zeitliche noch durch räumliche oder genetische Variationsursachen beeinflusst wurde. Alle

anderen Bodenparameter wiesen zeitlich bedingte Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren auf (Tab. 4.2), während unterschiedliche Beprobungsmonate nur die Fe_{extr} - und Zn_{extr} -Gehalte (Tab. 4.3) beeinflussten.

Räumlich abhängige Unterschiede im extrahierbaren Gehalt an P_{Cit} , K_{DL} und Mg_{DL} sowie Fe_{extr} und Zn_{extr} gingen auf die Standort-Nutzung zurück, indem die betreffenden Elemente auf Forst-Standorten die jeweils niedrigsten Gehalte aufwiesen (Tab. 4.5). Signifikante Unterschiede im pH-Wert und Humus-Gehalt sowie im Gehalt an Ca_{extr} , Fe_{extr} und Cu_{extr} standen dagegen mit Variationen der Bodenreaktion in Beziehung (Tab. 4.4).

Teilweise waren auch zeitlich erscheinende Variationsursachen räumlich abhängig: So wurden 2003 zwei saure Standorte mit Fe_{extr} -reichen Böden beprobt, 1993 dagegen drei basische Standorte mit Fe_{extr} -armen Böden (Tab. 4.2).

Genetisch bedingt kamen Stieleichen im Vergleich mit Traubeneichen auf Standorten mit höheren pH-Werten und höheren Zn_{extr} -Gehalten im Boden vor (Tab. 4.6).

Tab. 5.3: Zeitlich, räumlich und genetisch bedingte Variationsursachen für signifikante Unterschiede in den Bodenparametern (B) natürlicher Eichenmistel-Standorte

Variation	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
genetisch bedingt											
Eichenart		B	B							B	
Saat-/Ernteeichen											
räumlich bedingt											
Nutzung				B	B		B			B	B
Bodenreaktion	B	B	B			B		B			B
zeitlich bedingt											
Monat								B		B	
Jahr	B	B	B	B	B	B	B	B		B	B

Erläuterung: B = Variationen in Bodenparametern von natürlichen Eichenmistel-Standorten.

5.1.2 Bodenparameter

Nur etwa 20% der natürlichen Eichenmistel-Standorte in Frankreich wurden ackerbaulich beeinflusst, etwa 80% dagegen waren forstlich geprägt oder wurden als Grünland genutzt (Abb. 4.2; Tab. 4.5). Die Bodenparameter (Tab. 4.1) entsprachen Richtwerten für Grünland (Balzer 2002, Tab. 3.5) bzw. Angaben für vergleichbare Forstböden (Lyr et al. 1992). Die generell niedrigen pH-Werte ließen sich durch natürliche Versauerung begründen (Scheffer-Schachtschabel 1979), die auf Forst-Standorten durch Düngung ebenso selten kompensiert wird wie niedrige Mineralstoff-Gehalte, die auf Nährstoff-Verluste durch Auswaschung, Ernteentzug oder Verlagerung in Holzpflanzen zurückgehen dürften.

Kultivierte Eichenmistel-Standorte wurden überwiegend in der Nähe von Wäldern, aber auf zuvor als Grünland bzw.- Acker genutzten Flächen angelegt (Tab. A-14). Generell wiesen die Böden kultivierter Standorte höhere pH-Werte und Mg_{extr} -Gehalte auf (Tab. 4.29) als die Böden natürlicher Standorte. Abgesehen von erhöhten Humus-, Ca_{extr} - und Fe_{extr} -Gehalten entsprachen die Bodenparameter den Richtwerten für Grünland-Standorte (Balzer 2002).

Bezogen auf den pH_{H_2O} wiesen etwa 80% der natürlichen Eichenmistel-Standorte saure Böden auf (Tab. 4.4; Abb. 4.3). Damit traf die frühere Annahme, wonach das Vorkommen von *Viscum album* positiv mit dem Kalkgehalt im Boden korreliert ist (Moewes 1918, Tubeuf 1923), für die Eichenmistel nicht zu. Vielmehr stimmte das Resultat mit einem Fazit von Burger (1930) überein, wonach "Eichen auf kalkarmen Böden ganz entschieden besser wachsen". Auch geobotanische Angaben (Strasburger 1991) sprechen dafür, daß *Quercus robur* und *petraea* schwach bis stark saure Böden bevorzugen. Zudem sollen hohe Ca-Gehalte im Boden das Wurzelwachstum (Koestner et al. 1968) bzw. die Holzqualität (Dengler 1980) von Eichen beeinträchtigen. Daraus folgt, daß neben der genetischen Disposition (Grazi und Urech 1983, Grazi 1987) und der Aktivität mistelverbreitender Vögel als Hauptvoraussetzung für die Besiedlung von Eichen mit *Viscum album* offensichtlich auch für das Eichenwachstum optimale Bodenbedingungen die natürlichen Eichenmistel-Vorkommen beeinflussen.

5 von 11 kultivierten Eichenmistel-Standorten oder etwa 30% der Gesamtfläche hatten basische Böden (Tab. 4.30), entsprachen also nicht den laut Burger (1930) optimalen Bodenansprüchen der Eiche. 6 kultivierte Standorte wiesen dagegen saure Böden auf, deren pH-Wert allerdings höher war als auf natürlichen Standorten mit sauren Böden (Tab. 4.30).

Obwohl etwa 40 % der untersuchten natürlichen Eichenmistel-Standorte in die pH_{KCl} -Klasse "stark sauer" fielen (Abb. 5.1) und über die Hälfte der Misteleichen in dieser pH-Klasse als mistelreiche Ernteeichen eingestuft wurden, zeigten letztere bezüglich

Bodenansprüchen keine Unterschiede zu den mistelärmeren Saateichen (Tab. A-3). Von 11 kultivierten Standorten fiel nur ein Standort in die pH_{KCl}-Klasse "stark sauer".

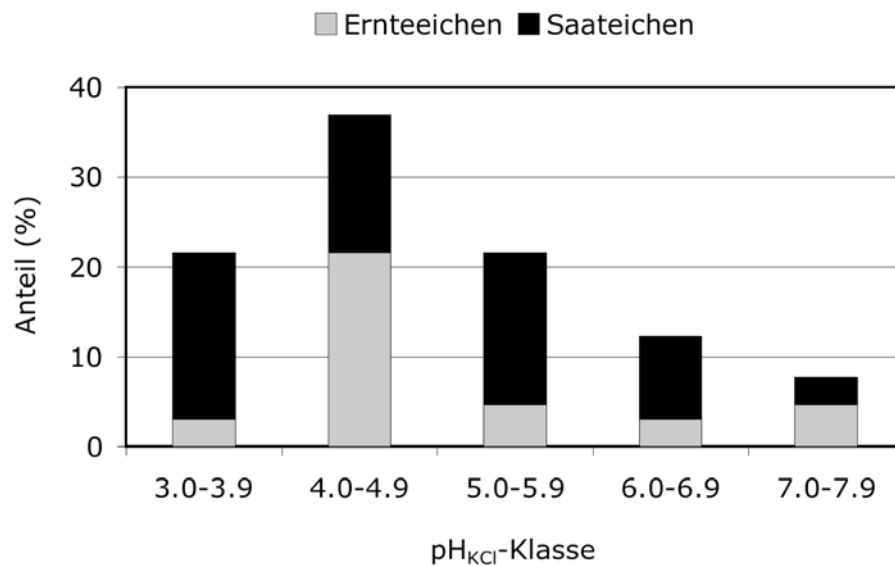


Abb. 5.1: Prozentualer Anteil von Böden in den pH_{KCl}-Klassen nach Scheffer-Schachtschabel (1979) auf natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich, differenziert nach Ernte und Saateichen

Stieleichen (*Q. robur*) dominierten im Vergleich zu Traubeneichen (*Q. petraea*) im Artenspektrum natürlicher Eichenmistel-Standorte (Abb. 4.1). Dabei hatten Traubeneichen-Standorte um eine Einheit niedrigere pH-Werte im Boden als Stieleichen-Standorte (Tab. 4.6); der geringe Traubeneichen-Anteil erlaubte allerdings nicht, daraus eine generelle Tendenz abzuleiten. Auch in der Literatur (Hartmann 1951, Krahel-Urban 1959, Koestner et al. 1968, Dengler 1980) war kein Hinweis auf eine unterschiedliche Kalk- bzw. pH-Toleranz der Eichenarten zu finden.

Charakteristisch für die Böden natürlicher und kultivierter Eichenmistel-Standorte waren positive Korrelationen zwischen den Parametern pH-Wert, Ca_{extr}-Gehalt und Humus-Gehalt (Tab. 4.7; Abb. 4.3; Tab. 4.31; Abb. 4.11) sowie negative Beziehungen von pH-Wert und Ca_{extr}-Gehalt mit dem in einigen Böden stark erhöhten Fe_{extr}-Gehalt (Tab. 4.7; Abb. 4.6; Tab. 4.31; Abb. 4.12). Dies entsprach Literaturangaben (Scheffer-Schachtschabel 1979, Mengel und Kirkby 1982), wonach niedrige Ca_{extr}-Gehalte mit niedrigen pH-Werten und Humus-Gehalten sowie erhöhten Fe_{extr}-Gehalten einhergehen. In den Böden kultivierter Eichenmistel-Standorte waren auch die Mn_{extr}- und Cu_{extr}-Gehalte negativ mit dem pH-Wert und dem Ca_{extr}-Gehalt korreliert (Tab. 4.31; Abb. 4.13). Die P_{Citr}-, K_{DL}-, Mg_{DL}- und Zn_{extr}-Gehalte korrelierten nur wenig mit anderen Bodenparametern natürlicher und kultivierter Eichenmistel-Standorte (Tab. 4.7).

5.1.3 Mineralstoff-Verhältnisse in Eichenblättern

Hohe Mn-Gehalte in den Eichenblättern (Tab 4.8) spiegelten am deutlichsten von allen untersuchten Mineralstoffen die überwiegend saure Bodenreaktion sowie die niedrigen Ca_{extr} - und Humus-Gehalte im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte wider (Tab. 4.14). Neben der in sauren Böden guten Mn-Verfügbarkeit dürfte hierfür die fehlende Konkurrenz durch Ca verantwortlich sein (Amberger 1983, Clarkson und Hanson 1980, Mengel und Kirkby 1982, Bergmann 1993, Rengel 2000): Das Ca-Ion hat einen ähnlichen Radius wie das Mn-Ion und wird laut Fox und Guerinot (1998) vom gleichen Transportsystem als Substrat genutzt.

Die Blätter kultivierter Misteleichen von Standorten mit basischen Böden wiesen neben erhöhten Ca- und B-Gehalten auffallend niedrige Mn-Gehalte auf (Tab. 4.36), die negativ mit den hohen pH-Werten, Humus-Gehalten und Ca_{extr} -Gehalten im Boden korrelierten (Tab. 4.37). Dies ließ sich damit erklären, daß Mn in Böden mit pH-Werten über 6.5 zunehmend in schwer reduzierbares, tetra-valentes Mn umgewandelt und für Pflanzen schwerer verfügbar wird (Cheng und Ouelette 1971, Rengel 2000). Zur Immobilisierung von Mn^{2+} in basischen Böden kultivierter Standorte können ferner die erhöhten Gehalte an organischer Substanz (Tab. 4.30) sowie Mn-oxidierende Bakterien und Pilze (Hodgson 1963, Fairley und Draycott 1973, Pavanadasivam 1973, Rengel 2000) beigetragen haben.

Höhere Mn-Gehalte als für Eichenblätter werden in der Literatur vor allem für die Nadeln von Gymnospermen dokumentiert, während andere Laubbäume teilweise deutlich geringere Mn-Gehalte im Blatt aufweisen (Tab. 5.4). Aufgrund fehlender Angaben zum pH-Wert im Boden muß dabei allerdings offen bleiben, ob die Unterschiede spezifisch für die Baumart sind oder auf der Bodenreaktion bzw. Mn-Verfügbarkeit beruhen. So verglich Ahrens (1964) die Spurenelement-Gehalte in Blättern verschiedener Laubbaumarten von nährstoffarmem Flotssand und nährstoffreichem Auelehm und stellte je nach Baumart auf dem sauren Flotssand unterschiedlich stark, aber generell erhöhte Mn-Gehalte fest.

Auch in der vorliegenden Arbeit traten erhöhte Mn-Gehalte in Eichenblättern nur auf Standorten auf, wo niedrige pH-Werte und Ca_{extr} -Gehalte im Boden eine erhöhte Mn-Aufnahme zuließen. Stichproben in Blättern von Apfel und Ulme zeigten dagegen, daß diese Laubbaumarten auch auf sauren Böden keine Mn-Anreicherung zeigten (Tab. 4.71). Dieses Ergebnis korrespondierte bezüglich Mn mit dem Fazit von Ahrens (1964), wonach "der Gehalt an Cu, Zn und B entscheidend von der Baumart, der von Mo in erster Linie vom Boden beeinflusst wird, während Mn in sehr starkem Maße von beiden abhängig ist."

Tab. 5.4: Mn- und Fe-Gehalte (mg kg^{-1}) in Blättern und Nadeln verschiedener Baumarten

Baumart	Mn	Fe	Bodenreaktion	Quelle
Stiel-/Traubeneichen (<i>Quercus robur / petraea</i>)	570	175	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5.5	Vorliegende Arbeit,
	265	124	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 7.5	natürliche Standorte
	673	113	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6.3	Vorliegende Arbeit,
	39	66	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 7.7	kultivierte Standorte
Stieleiche (<i>Q. robur</i> , Blätter grün)	93	95	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6.2	Thomas et al. (1998)
Stieleiche (<i>Q. robur</i> , Blätter gelb)	20	71	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6.2	Thomas et al. (1998)
Stieleiche (<i>Quercus robur</i>)	67 - 2824	124 - 437	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Eiche (<i>Quercus spec.</i>)	1680	79	sauer	Rademacher 2005a
Korkeiche (<i>Quercus suber</i>)	1000	180	sauer	Orgeas et al. (2002)
Spitzahorn (<i>Acer platanoides</i>)	36	165	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Roterle (<i>Alnus glutinosa</i>)	1780	1310	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)	236	105	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Pappel (<i>Populus spec.</i>)	230	740	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Birke (<i>Betula pendula</i>)	36 - 958	103 - 138	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Apfel (<i>Malus domestica</i>)	35 - 100	k. A.	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Fichte (<i>Picea abies</i>)	200 - 3200	25 - 410	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Eibe (<i>Taxus baccata</i>)	100 - 8000	67 - 789	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Tanne (<i>Abies alba</i>)	200 - 5200	30 - 120	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)
Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>)	100 - 1000	40 - 550	k. A.	Heinze und Fiedler (1992)

Erläuterung: k. A. = keine Angaben

Die Eiche neigt zwar im Vergleich mit anderen Laubbäumen zur Mn-Anreicherung, scheint als Laubbaum Mn jedoch weniger exzessiv aufzunehmen als Nadelbäume (Trüby 1994). Denkbar ist, daß Eichen auch physiologisch eine Mittelstellung zwischen Nadelhölzern und höher organisierten Laubhölzern einnehmen, wie es die systematische Einordnung als niedere Entwicklungsstufe (*Apetalae*) der Angiospermen zwischen den Gymnospermen und den höher organisierten Angiospermen (Strasburger 1991) nahelegt.

Extrem hohe Mn-Gehalte, die Thomas und Büttner (1998) in Blättern gesunder (900 - 1800 mg kg^{-1}) bzw. geschädigter (2600 - 3900 mg kg^{-1}) Stiel- und Traubeneichen von Standorten mit extrem sauren Böden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 4.5 bzw. 3.9) feststellten, traten in Eichenblättern von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten nicht auf (Tab. 5.1; Tab. 4.8; Tab. 4.32). Der geringe Anteil von Misteleichen und speziell von mistelreichen Ernteeichen in der pH_{KCl} -Klasse 3.0 - 3.9 (Abb. 5.1) ließ aber vermuten, daß Eichen auf Böden mit pH_{KCl} -Werten unter 3.0 bzw. $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Werten unter 4.0 nicht nur geschädigt werden können, sondern vor allem als Mistelwirt zunehmend ungeeignet sein dürften.

5.1.4 Mineralstoff-Verhältnisse in Eichenmisteln

In Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten waren die Gehalte der meisten untersuchten Mineralstoffe im Vergleich zu den Eichenblättern unabhängig von Bodenparametern signifikant erhöht (Tab. 4.25). Die Hauptelement- und Na-Gehalte entsprachen dabei den Gehalten in anderen *Viscaceen* und *Loranthaceen* (Lamont und Southhall 1982, Glatzel 1983, Ehleringer und Schulze 1985, Panvini und Eickmeier 1993, Karunaichamy et al. 1999, Bannister et al. 2002) (Tab. 5.5).

Tab. 5.5: Vergleich der Gehalte (g kg⁻¹) an Hauptelementen (N, P, K, Ca, Mg) sowie Na in Eichenmisteln mit Angaben aus der Literatur

	Diese Arbeit	Ehleringer u. Schulze (1985)	Panvini u. Eickmeier (1993)	Lamont u. Southhall (1982)	Karunaichamy et al. (1999)	Glatzel (1983)	Bannister et al. (2002)
Mistel Wirt	<i>V. album</i> <i>Q. spec.</i>	<i>Phoradendron</i> <i>Cercidium</i>	<i>Phoradendron</i> diverse Wirte	<i>Amyema</i> <i>Acacia</i>	<i>Dendrophthoe</i> <i>Azadirachta</i>	<i>Loranthus</i> <i>Q. petraea</i>	diverse Arten*
Mistel-organ	zweijähriger Sproß	einjährige Blätter	Blätter	gesamter Sproß	einjährige Blätter	Blätter	Blätter
Beprobung	Sommer	Herbst	Sommer	Jahresmittel	30 Tage nach Saat	Sommer	Jahresmittel
N	31.7	28.0	27.7	19.0	20.9	29.1	14.0
P	3.2	2.2	3.1	-	1.9	3.1	1.7
K	27.3	27.6	81.5	13.7	18.4	35.9	18.0
Ca	11.7	15.4	17.2	8.5	26.0	20.2	7.5
Mg	1.8	3.0	10.4	1.0	2.0	n.b.	3.2
Na	0.7	0.1	2.1	2.7	1.1	n.b.	1.5

Erläuterungen: * = *Ileostylus micranthus* auf 9 Wirtsbäumen und *Tupela antarctica* auf dem Wirt *Carpodetus serratus*; n.b. = nicht bestimmt.

Im Vergleich zu den anderen Misteln lagen die N- und P-Gehalte tendenziell höher, die Ca- und Na-Gehalte dagegen tendenziell niedriger. *Viscum album* und *Loranthus europaeus* hatten vergleichbare N- und P-Gehalte, *Loranthus* wies jedoch deutlich höhere K- und Ca-Gehalte auf als *Viscum* (Glatzel 1983). *Loranthus* gilt als Kalium-Typ, der hohe Ca-Gehalte durch erhöhte K-Aufnahme kompensiert, während *Viscum* als Oxalat-Typ überschüssiges Ca an Oxalat bindet und so das Zellmilieu entgiftet (Horak 1974).

Wie andere *Viscaceen* und *Loranthaceen* (Lamont und Southhall 1982, Glatzel 1983, Ehleringer und Schulze 1985, Karunaichamy et al. 1999, Bannister et al. 2002) reicherten Eichenmisteln vor allem K und P an, zeigten für Ca und Mg dagegen teilweise reduzierte Gehalte (Tab. 5.6). Goedings (1995) fand in *Viscum album* ebenfalls eine starke K- und P-Anreicherung gegenüber dem Wirt.

Tab. 5.6: Vergleich der Anreicherung (%) von Hauptelementen (N, P, K, Ca und Mg) sowie Na in Eichenmisteln mit Angaben aus der Literatur

	Diese Arbeit	Ehleringer u. Schulze (1985)	Panvini u. Eickmeier (1993)	Lamont u. Southhall (1982)	Karunaichamy et al. (1999)	Glatzel (1983)	Bannister et al. (2002)
Mistel: Wirt:	<i>V. album</i> <i>Quercus</i>	<i>Phoradendron</i> <i>Cercidium</i>	<i>Phoradendron</i> diverse Wirte	<i>Amyema</i> <i>Acacia</i>	<i>Dendrophthoe</i> <i>Azadirachta</i>	<i>Loranthus</i> <i>Quercus</i>	diverse Arten*
N	133 (86)	150	170 (165)	110	130	120	90
P	201 (144)	180	288 (290)	n.b.	150	120	150
K	297 (211)	250	255 (250)	530	170	290	310
Ca	156	90	118	110	110	200	80
Mg	123 (82)	70	105 (97)	170	120	n.b.	100
Na	214 (150)	110	138 (135)	370	210	n.b.	240

Erläuterungen: * = *Ileostylus micranthus* auf 9 Wirtsbäumen und *Tupela antarctica* auf dem Wirt *Carpodetus serratus*; Werte in Klammern: Ca-abhängige Anreicherung; n. b. = nicht bestimmt.

Zu berücksichtigen war beim Vergleich der in Tabelle 5.5 und 5.6 zusammengestellten Arbeiten, daß nicht nur genetisch, physiologisch und morphologisch verschiedene Mistelarten auf unterschiedlichen Wirtsbäumen untersucht wurden, sondern auch verschiedene Organe der Mistel bzw. des Wirtes zu unterschiedlichen Jahreszeiten beprobt wurden. Pate et al. (1999) konnten zeigen, daß die Mineralstoff-Gehalte in den Organen von Misteln generell unterschiedlich sind und altersabhängig sowie jahreszeitlich bedingt weitere Variationen auftreten: N, Ca, Mg, Mn weisen in den Blättern höhere Gehalte auf als in Stengeln, Knospen, Blüten und Früchten, während K, Cu und Zn in den betreffenden Organen ähnliche Werte zeigen. Im Vergleich hierzu ist P in den reproduktiven Organen am höchsten konzentriert. Popp und Richter (1998) sowie Bannister et al. (2002) plädieren deshalb dafür, einheitlich die Blätter von Misteln und Wirtsbäumen miteinander zu vergleichen. In der vorliegenden Arbeit wurden, der pharmazeutischen Mistelverarbeitung entsprechend, zweijährige Sproßorgane, also ein- und zweijährige Blätter und Stengel sowie Blütenknospen und Früchte, beprobt. Deshalb dürften im Vergleich mit reiner Blattbeprobung insbesondere die N-, Ca-, Mg- und Mn-Werte tendenziell zu niedrig eingestuft sein.

Auffallend an den Arbeiten von Lamont und Southhall (1982), Glatzel (1983), Ehleringer und Schulze (1985), Panvini und Eickmeier (1993), Karunaichamy et al. (1999) und Bannister et al. (2002) (Tab. 5.5) ist, daß der Einfluß von Bodenparametern auf den Mineralstoff-Gehalt in Misteln nicht berücksichtigt wurde. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen denn auch, daß in Eichenmisteln die betreffenden Elemente (N, P, K, Ca, Mg und Na) gegenüber den Eichenblättern zwar relativ stark angereichert wurden (Tab. 5.6), doch weder Gehalt noch

Anreicherung eng mit Bodenparametern korreliert waren (Tab. 4.24; Tab. 4.26). Da auch die betreffenden Elementgehalte in Eichenblättern kaum von Bodenparametern beeinflusst wurden, (Tab. 4.14), dürfte deren bisherige Nichtberücksichtigung beim Vergleich von Mistelstudien wenig ins Gewicht fallen.

Unabhängig von Bodenparametern waren in den Eichenmisteln auch Gehalt und Anreicherung der Spurenelemente Zn, Cu und Co, während die Mo- bzw. B-Gehalte mit einem bzw. zwei Bodenparametern signifikant korreliert waren (Tab. 4.24; Tab. 4.26).

Gehalt und Anreicherung sowie selektive Aufnahme der Hauptelemente N, P, K, Ca und Mg sowie der Spurenelemente Zn, Cu, B, Mo, Na und Co schienen entweder spezifisch für *Viscum album* zu sein oder allgemeine Charakteristika der Mineralstoff-Physiologie von Laubholzwirten und Misteln widerzuspiegeln.

5.1.5 Vom Boden abhängige Wirtsspezifität der Mn-Gehalte in Eichenmisteln

Besondere Beachtung verdient das Element Mn, dessen mittlerer Gehalt von 865 mg kg^{-1} Mn in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten (Tab. 4.16) im Vergleich mit anderen Misteln relativ hoch war (Tab. 5.7). Zwar enthielt *Phoradendron leucarpum*, von Panvini und Eickmeier (1993) auf 10 verschiedenen Wirten gesammelt, mit 1270 mg kg^{-1} mehr Mn als Eichenmisteln. Dieser Wert bezog sich jedoch auf reine Blattproben, die erheblich Mn-reicher sind als Stengel (Pate et al. 1991), die in den Eichenmistelproben einen hohen Anteil ausmachten. Pate et al. (1991) fanden dagegen in zweijährigen Blättern von *Amyema* lediglich 109 mg kg^{-1} Mn, obwohl dies die Mn-reichsten Organe waren.

Jadin und Astruc (1913) zufolge enthielt *Viscum album* von *Quercus palustris* und *Populus nigra* 330 bzw. 585 mg kg^{-1} Mn, von *Malus domestica* und *Abies pectinata* dagegen nur 59 bzw. 87 mg kg^{-1} Mn. Kutyna und Wlodarczyk (2004) dokumentieren für *Viscum album* von verschiedenen Wirtsbäumen Mn-Gehalte zwischen 19 und 97 mg kg^{-1} . Beide Arbeiten machen allerdings keine Angaben zu den beprobten Mistelorganen. Sehr hohe Mn-Gehalte fand Goedings (1995) in Blättern von Tannenmisteln, während Blätter von Kiefernmisteln etwa 40 Mal und von Apfelmisteln sogar etwa 130 Mal weniger Mn enthielten (Tab. 5.7).

Wie Pate et al. (1999) unterstrich Goedings (1995), daß die Mn-Gehalte in Mistelblättern höher waren als in den Stengeln und den generativen Organen, also Kurztrieben und Früchten. Auch Novacek und Teterova (1987) fanden relativ hohe Mn-Gehalte (668 mg kg^{-1}) in den Blättern, dagegen nur 117 mg kg^{-1} Mn in den Stengeln und 114 mg kg^{-1} Mn in Früchten von *Viscum album* auf *Salix alba* (Tab. 5.7).

Tab. 5.7: Mn-Gehalte in Misteln (*Viscum album*) von verschiedenen Wirtsbäumen

Wirtsbaum	Mn (mg kg ⁻¹)	Mistelorgan/Boden	Quelle
<i>Q. robur /petraea</i>	195 / 873		diese Arbeit, natürliche Standorte
	46 / 577		diese Arbeit, kultivierte Standorte
<i>Abies alba</i>	162 / 375	zweijährige Sproßorgane, basische / saure Böden	diese Arbeit, diverse Standorte
<i>Malus domestica</i>	37 / 49		diese Arbeit, kultivierte Standorte
<i>Pinus sylvestris</i>	26 / 826		diese Arbeit, diverse Standorte
<i>Ulmus spec.</i>	19 / 55		diese Arbeit, kultivierte Standorte
<i>Malus domestica</i>	120 - 130	Mistelsprosse	Muravyeva und Popova (1990)
<i>Pyrus communis</i>	130 - 140	Mistelsprosse	
<i>Salix spec.</i>	130	Mistelsprosse	
<i>Populus nigra</i>	110/ 28 / 22	Blätter / Stengel / Früchte	Novacek und Teterova (1987)
<i>Salix alba</i>	668 / 117 / 114	Blätter / Stengel / Früchte	
<i>Tilia cordata</i>	240 / 43 / 284	Blätter / Stengel / Früchte	
<i>Sorbus aucuparia</i>	52 / 17 / 17	Blätter / Stengel / Früchte	
<i>Abies alba</i>	1648 - 1923	Blätter	Goedings (1995)
<i>Acer spec.</i>	23 - 27	Blätter	
<i>Malus domestica</i>	11-16	Blätter	
<i>Pinus sylvestris</i>	44 - 49	Blätter	
<i>Populus spec.</i>	19 - 23	Blätter	
<i>Robinia pseudacacia</i>	13	Blätter	
<i>Salix spec.</i>	27 - 38	Blätter	
<i>Tilia cordata</i>	27	Blätter	

In Sproßorganen von *Viscum album* auf Apfel, Birne und Weide von drei verschiedenen Standorten stellten Muravyeva und Popova (1990) Mn-Gehalte von 120 - 140 mg kg⁻¹ fest (Tab. 5.7), die wahrscheinlich wirtsspezifisch relativ niedrig waren; allerdings könnten auch die sehr niedrigen pH-Werte zwischen 3.2 und 5.1 in den Böden der untersuchten Standorte die Mn-Verfügbarkeit durch Blockade der Mn^{4+/2+}-Reduktion (Thomas und Büttner 1998) begrenzt haben. Bezüglich Mn-Aufnahme ähnliche Mistelwirte und bezüglich Bodenreaktion ähnliche Standorte schränken die Aussagekraft der Arbeit von Muravyeva und Popova (1990) stark ein, obwohl sie als wahrscheinlich einzige bisher publizierte Untersuchung von Mistel-Wirt-Beziehungen auch Bodenparameter konkret berücksichtigt hat.

Die vorliegende Arbeit ließ im Vergleich dazu durch die große Variabilität natürlicher Eichenmistel-Standorte mit pH_{KCl}-Werten von 3.5 bis 7.2 (Tab. 4.1; Abb. 4.6) den Einfluß des Bodens auf die Mn-Aufnahme deutlich werden. Wie in Eichenblättern (Tab. 4.14) korrelierten auch in Eichenmisteln (Tab. 4.16) die hohen Mn-Gehalte vor allem signifikant negativ mit dem pH-Wert, dem Ca_{extr}- und dem Humus-Gehalt (Tab. 4.24). Unter den für natürliche Eichenmistel-Standorte in Frankreich charakteristischen sauren Bodenbedingungen liegt Mn

in der Bodenlösung als reduziertes, zweiwertiges Kation vor und ist optimal pflanzenverfügbar (Mengel und Kirkby 1982, Rengel 2000). Niedrige Ca-Gehalte fördern die Mn-Aufnahme indirekt durch niedrige pH-Werte und Redoxpotentiale, aber auch durch verminderte Konkurrenz gegenüber dem ähnlich großen, ebenfalls zweiwertigen Mn-Ion (Amberger 1983, Bergmann 1993, Rengel 2000). Niedrige Humus-Gehalte sind Hodgson (1963), Cheng und Ouellette (1971), Pavanadasivam (1973) sowie Farley und Draycott (1973) zufolge ebenfalls ein wichtiger Faktor für eine gute Mn-Verfügbarkeit, weil Mn weniger durch Mikroorganismen inkorporiert bzw. in schwer löslichen Huminsäurekomplexen festgelegt wird.

Wie die Blätter von Apfel und Ulme (Tab. 4.71) hatten auch Misteln von Apfel und Ulme selbst auf sauren Böden nur sehr niedrigere Mn-Gehalte (Abb. 4.43; Tab. 5.7). Dies unterstreicht, daß die Mn-Aufnahme für Eichenmisteln in erster Linie wirtsspezifisch ist, daß sich diese Wirtsspezifität aber nur auf sauren Bodenbedingungen mit ausreichender Mn-Versorgung entfalten kann, also bodenabhängig ist.

Unterschiedliche Mn-Aufnahme durch verschiedene Baumarten kann nach Heinze und Fiedler (1992) zwar auf Gattungs- und Artspezifitäten zurückzuführen sein, in der Literatur fehlen jedoch Ansätze für die physiologische oder morphologische Erklärung einer unterschiedlichen Selektivität. Für Eichen und Nadelbäume, also Bäume mit tendenziell hoher Mn-Aufnahme, dürfte gelten, daß Mn – ähnlich wie Ca - beim Übertritt aus der Bodenlösung in das Xylem nicht durch physiologische Barrieren gehindert wird (Heinze und Fiedler 1992). Einzig die für Bäume wichtige Mykorrhiza kann Rengel (2000) zufolge in gewissem Rahmen die Mn-Akkumulation begrenzen.

Die auf den Ca-Gehalt in Eichenblatt und Eichenmistel bezogene Mn-Anreicherung durch Eichenmisteln war mit einem Faktor von 1.07 gegenüber Eichenblättern (Abb. 4.10; Tab. A-13) etwa gleich groß wie in *Phoradendron* (Panvini und Eickmeier 1993). Dies ließ darauf schließen, daß *Viscum album* Mn nicht im demselben Maße angereichert hat wie die Elemente P, K, Na und Co, die Faktoren größer als 2.0 aufwiesen (Abb. 4.10; Tab. A-13).

Eichenmisteln enthielten auf kultivierten Standorten weniger Mn als auf natürlichen Standorten (Tab. 4.44); auch auf kultivierten Standorten mit sauren Böden wurden die hohen Mn-Gehalte natürlicher Eichenmisteln nicht erreicht (Tab. 4.47). Dies könnte mit dem geringen Alter der beprobten Misteleichen von maximal 20 Jahren (Abb. 5.2) und der beprobten Eichenmisteln von etwa 10 Jahren zusammenhängen; im Vergleich dazu waren die beprobten Misteleichen auf natürlichen Standorten im Durchschnitt 100-jährig und die beprobten Mistelbüsche etwa 15 bis 20 Jahre alt.



Abb. 5.2: Veredelte Misteleichen auf dem Standort Rotenburg

Erläuterung: veredelt auf Hochstamm-Eichen 1989, gepflanzt 1990, Aufnahme vom 3. Mai 2006.

Mit zunehmendem Alter lösen Streuumsetzung und Stammabfluß im Boden von Eichen-Standorten eine allmähliche pH-Absenkung aus. Dabei hängt die Intensität der versauernden Wirkung des am Stamm abfließenden Wassers mit dem pH-Wert der von der Krone gesammelten Niederschläge, aber auch mit säurehaltigen Substanzen zusammen, die insbesondere aus der rauhen Eichenrinde ausgewaschen werden (Beniamino et al. 1991). Beyer et al. (1991) stellten auf einem Parabraunerde-Standort in Schleswig-Holstein unter Stieleichen und Buchen innerhalb von 25 Jahren eine pH-Absenkung um eine halbe Einheit fest. Durch die pH-Absenkung wird einerseits die Mn-Verfügbarkeit im Boden von Eichen-Standorten erhöht. Zusätzlich bauen Eichen im Verlauf von Jahrzehnten einen wachsenden Mn-Vorrat in einem weitgehend geschlossenen Mn-Kreislauf auf (Marcar et al. 1988). Aus dem Boden aufgenommenes Mn wird im Xylem in die Kronenperipherie der Bäume transportiert, wo sich die höchsten Gehalte in den Blättern bzw. Nadeln und in der Rinde befinden (Heinze und Fiedler 1992, Hunter und Nicholson 1988, Marcar et al. 1988, Saur et al. 1992) und gelangt mit dem herbstlichen Laubfall sowie Zweigen, die in lichtarmen Kronenregionen absterben, in einen Kreislauf, der nach der Streuumsetzung durch Bodenorganismen das Mn-Angebot für Feinwurzeln bzw. Mykorrhizen kontinuierlich erhöht, sofern keine Verluste durch Perkolation bzw. Festlegung durch Oxidation erfolgen (Abb. 5.3).

Da Mn als wenig im Phloem beweglich gilt (Heinze und Fiedler 1992), ist im Wirtsxylem von der Wurzel akropetal verlagertes Mn die wichtigste Mn-Quelle für die Eichenmistel. Auffallend war allerdings, daß die Mn-Anreicherung in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern positiv mit dem Mn_{extr} -Gehalt im Boden korrelierbar war (Tab. 4.26), während die Mn-Gehalte in Eichenblättern (Tab. 4.14) und Eichenmisteln (Tab. 4.24) nicht mit diesem Bodenparameter in Beziehung standen. Denkbar ist, daß Eichen vom Mn-Vorrat im Boden abhängige Mn-Überschüsse nicht in die Blätter, sondern in die Rinde auslagern, deren Mn-Gehalt für die Rindenstränge von Eichenmisteln eine zusätzliche Mn-Quelle darstellen könnte, welche die Mn-Aufnahme durch offene Xylem-Verbindungen mit dem Wirt ergänzt.

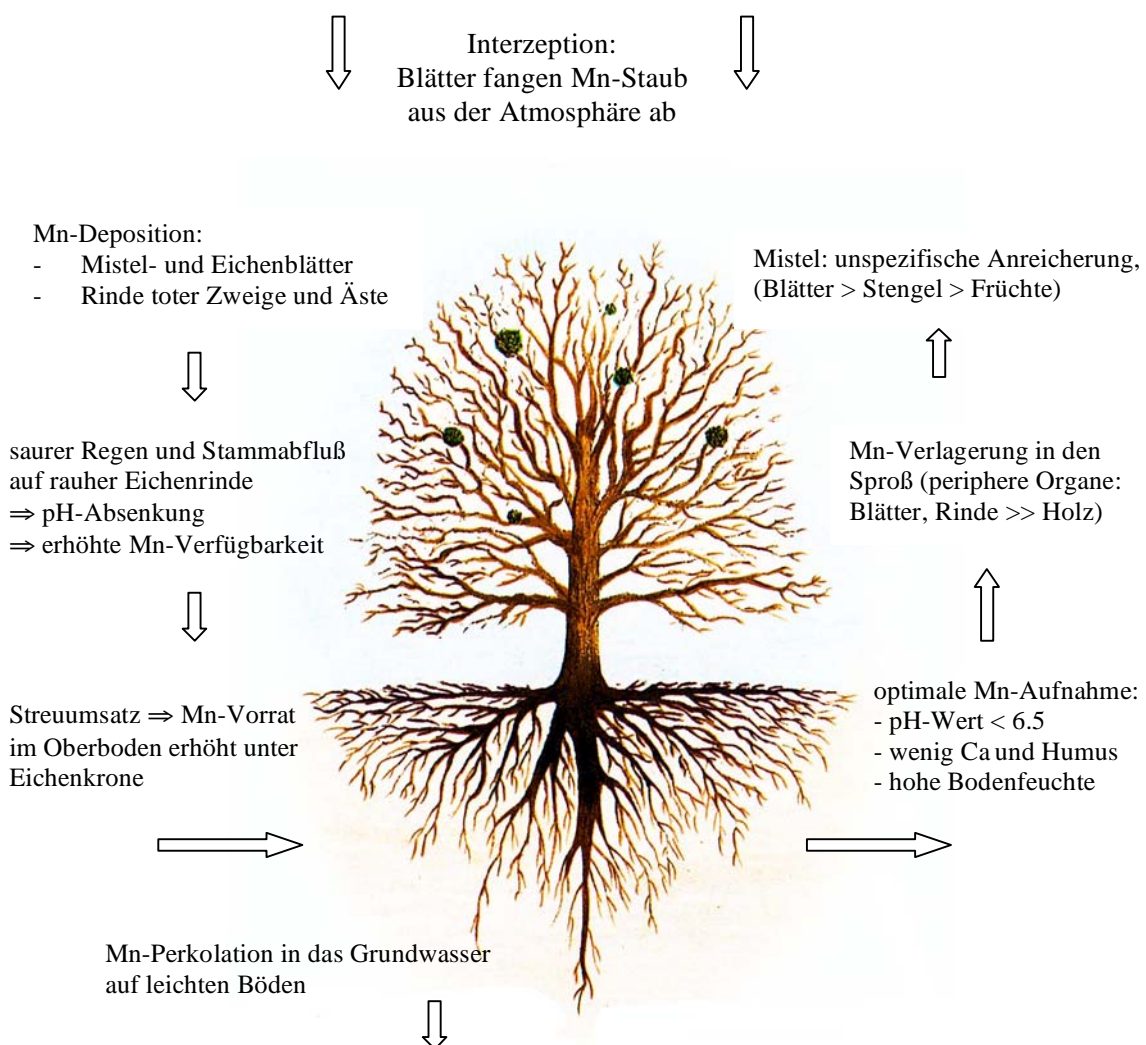


Abb. 5.3: Mn-Kreislauf auf einem Eichenmistel-Standort mit saurem Boden

Mn-Gehalte im Mangelbereich ($< 25 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}$) traten in Eichenmisteln auf natürlichen Eichenmistel-Standorten auch auf basischen Böden kaum auf (Abb. 4.8). Möglicherweise waren die durchwegs älteren natürlichen Misteleichen genetisch und physiologisch ähnlich optimal an eine begrenzte Mn-Verfügbarkeit angepaßt, wie Anderson et al. (1988), Camargo (1988), Cooper (1988) sowie Radjagukguk et al. (1988) für andere Pflanzenarten unter dem Begriff Mn-Effizienz beschrieben haben. Denkbar sind enge Assoziationen mit Mn-reduzierenden Bakterien in der Rhizosphäre oder optimierte Rezyklierung von Mn in geschlossenen Kreisläufen zwischen Boden und Eichenkrone.

Zudem könnten Eichen laut Penninckx et al. (2001) über eine charakteristische Fähigkeit zur Mn-Resorption an der Hart-/Saftholz-Grenze verfügen. Während Buchen (*Fagus*) große Mengen an Mineralien im Hartholz akkumulieren, sind bei Eichen insbesondere die Mn-, Mg- und Ca-Gehalte im älteren Hartholz auffallend niedrig. Im Vergleich dazu ansteigende Konzentrationen im jüngeren Saftholz interpretieren Penninckx et al. (2001) als Hinweis auf die Resorption von Nährelementen aus dem Holz. Weil das Phänomen auch an anderen *Quercus*-Arten beobachtet wurde, erachten sie es als charakteristisch für Eichen. Mn-Resorption aus dem Hartholz könnte für Eichen eine temporär nutzbare Mn-Reserve bei akut auftretenden Mangelsituationen sein, zum Beispiel wenn die Mn-Verfügbarkeit in trockenen Sommern in gut durchlüfteten Böden sinkt (Cheng und Ouelette 1971, Hodgson 1971, Amberger 1983, Bergmann 1993), der für Eichen charakteristische, Ende Juni einsetzende zweite Austrieb (Johannitrieb) jedoch einen hohen Mn-Bedarf hat. Von anhaltend höheren Mn-Konzentrationen im Xylem würde konsequenterweise auch die aufsitzende Mistel profitieren.

An anderen Pflanzen beobachtete Phänomene von Mn-Streß bzw. Mn-Toxizität (González et al. 1998) spielten in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten selbst auf extrem sauren Böden keine Rolle. In den Naturbeständen war in der pH_{KCl} -Klasse "extrem sauer" allerdings der Anteil misteltragender und erntefähiger Eichen geringer als in der pH_{KCl} -Klasse "stark sauer" (Abb. 5.1). Bei der Auswahl von Standorten für die Eichenmistel-Kultivierung sollte deshalb als Untergrenze ein pH_{KCl} von 4.0 eingehalten werden, um optimales Eichen- und Mistelwachstum zu sichern. Unterhalb von pH_{KCl} 4.0 kann zudem die Mn-Verfügbarkeit durch eine Blockade der $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{2+}$ -Reduktion beschränkt sein (Thomas und Büttner 1998), wie die vergleichsweise niedrigen Mn_{extr} -Gehalte in der pH-Klasse "extrem sauer" nahelegen (Abb. 4.5, Tab. A-4).

5.1.6 Besonderheiten der Fe-Versorgung von Eichenmisteln

Der Fe-Gehalt in Eichenmisteln war signifikant negativ mit dem $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Wert und Ca_{extr} -Gehalt im Boden korreliert (Tab. 4.24), die Fe-Aufnahme in die Eichenmistel erfolgte jedoch selektiv. Auf Standorten mit niedrigen Fe-Gehalten in Eichenblättern wurde Fe von der Mistel angereichert, auf Standorten mit hohen Fe-Gehalten in Eichenblättern dagegen ausgeschlossen (Tab. 4.27; Abb. 4.9). Unabhängig von bodenabhängigen Fe-Konzentrationen stellten Eichenmisteln in den zweijährigen Sproßorganen einen mittleren Fe-Gehalt ein.

Nach Panvini und Eickmeier (1993) zeigt *Phoradendron leucarpum* die Tendenz, Fe auszuschließen, wenn die Konzentration im Wirtsblatt hoch ist; der Fe-Gehalt war im Mistelblatt (160 mg kg^{-1}) niedriger als im Wirtsblatt (170 mg kg^{-1}). *Amyema preissii* enthielt laut Lamont und Southhall (1981) im Jahresmittel etwa 12% weniger Fe (80.3 mg kg^{-1}) als der Wirt *Acacia acuminata* (91.0 mg kg^{-1}), während die Gehalte anderer Mineralstoffe in der Mistel erhöht waren. Auffallend waren dabei unter dem Mistelhaustorium im Wirtsast erhöhte Fe-Konzentrationen, die im Zusammenhang mit aktiven Aufnahmeprozessen als Hinweis auf einen erhöhten metabolischen Fe-Bedarf an der Grenze zwischen Wirts- und Mistelgewebe interpretiert wurden (Lamont und Southhall 1981, Lamont 1983).

Begrenzte Fe-Verlagerung entspricht insofern der pflanzlichen Fe-Physiologie, als der Sproß meistens weniger Fe enthält als die Wurzel (Tab. 5.8). Besonders auf sauren Böden kann eine erhöhte Fe-Verfügbarkeit zur Fe-Akkumulation in der Wurzel führen, was in der vorliegenden Arbeit im Gefäßversuch mit den sauren Böden vom "Ton"- und "Sand"-Standort beobachtet wurde (Tab. 4.59, Abb. 4.26). Saur et al. (1992) vermuten, daß die begrenzte Fe-Verlagerung in den Sproß von *Pinus pinaster* und eine Fe-Akkumulation in Wurzeln auf eine interne Chelatisierung oder Ausfällung von Fe zurückgeht.

Tab. 5.8: Fe-Gehalte (mg kg^{-1}) in Sproß und Wurzel verschiedener Pflanzen

Pflanzenart	Wurzel - Fe	Sproß - Fe	Boden/Medium	Quelle
<i>Quercus robur</i>	324	151	stark sauer ("Sand")	diese Arbeit, kleine Wurzelkästen
<i>Quercus robur</i>	239	118	mäßig sauer ("Ton")	
<i>Quercus robur</i>	224	100	basisch ("Kalk")	
<i>Picea abies</i>	4805	87	nährstoffarm	Rademacher (2005a,b)
<i>Picea abies</i>	816	61	nährstoffreich	
<i>Fagus sylvatica</i>	363	80	Kalkstandort	
<i>Pinus sylvestris</i>	83	39	mäßig nährstoffarm	
<i>Betula pendula</i>	455	193	Nährmedium	Göransson (1994)

Denkbar ist, daß Fe beim Eintritt in das Xylem des Mistelsenkers (Abb. 5.4), der funktionell der Wurzel entspricht, immobilisiert und kontrolliert in den Sproß verlagert wird.

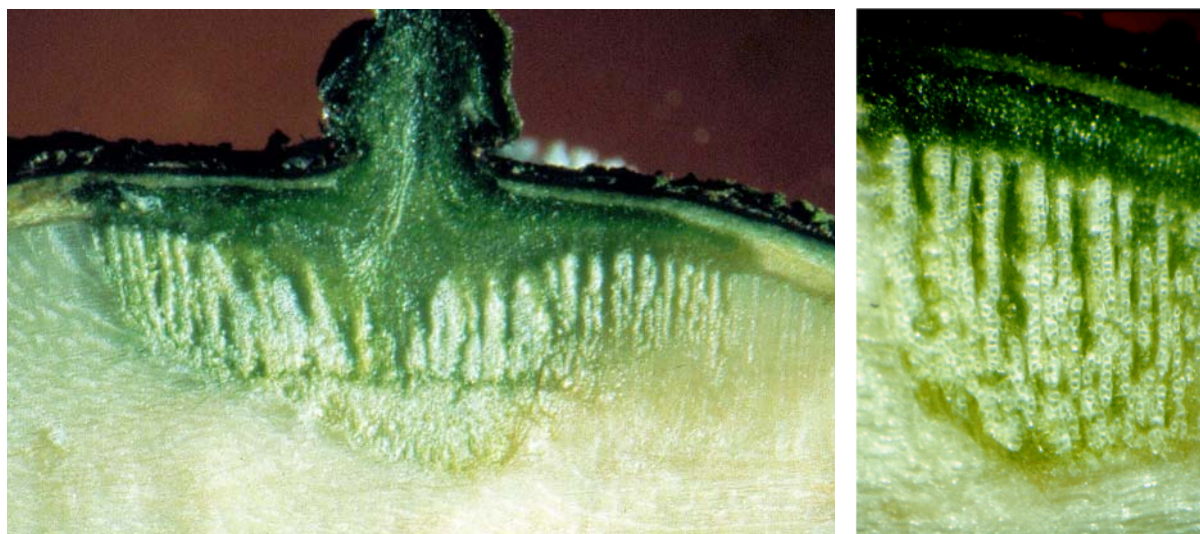


Abb. 5.4: Mistelsenker (*Viscum album* auf *Malus domestica*)

Erläuterungen: Wirtsast radial geschnitten, Mistelsenker (links) mit vertikal übereinander lagernden Xylemsträngen (rechts).

Der mittlere Fe-Gehalt im Sproß von Eichenmisteln (71 - 103 mg kg⁻¹ Fe) war dem Fe-Gehalt in *Viscum* auf anderen Wirten vergleichbar (Tab. 5.9). Kutyna und Wlodarczyk (2004) fanden in *Viscum album* von verschiedenen Wirtsbäumen Fe-Gehalte von 57 bis 183 mg kg⁻¹. Blätter enthalten mehr Fe als Stengel und Früchte (Novacek und Teterova, 1987; Tab. 5.9).

Tab. 5.9: Fe-Gehalt in Misteln (*Viscum album*) von Eichen (*Quercus robur/petraea*) und anderen Wirtsbäumen

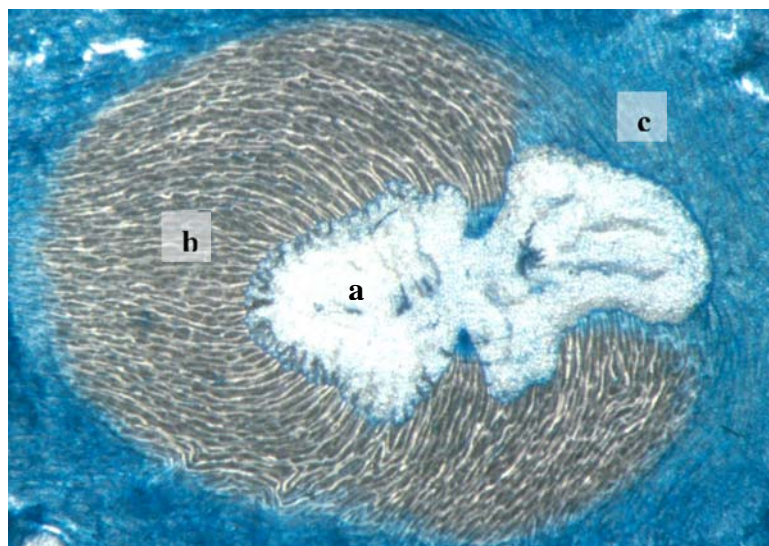
Wirtsbaum	Mistelorgan	Fe (mg kg ⁻¹)	Quelle
<i>Q. robur /petraea</i>	zweijährige Sproßorgane	85 / 100	diese Arbeit , natürliche Standorte,
	basische / saure Böden	71 / 103	diese Arbeit , kultivierte Standorte,
<i>Malus domestica</i>	Mistelsproß	120 - 140	Muravyeva und Popova (1990)
<i>Pyrus communis</i>	Mistelsproß	130 – 140	Muravyeva und Popova (1990)
<i>Salix spec.</i>	Mistelsproß	120 - 130	Muravyeva und Popova (1990)
<i>Salix alba</i>	Blätter/Stengel/Früchte	228 / 97 / 45	Novacek und Teterova (1987)
<i>Populus nigra</i>	Blätter/Stengel/Früchte	118/ 87 / 33	Novacek und Teterova (1987)
<i>Tilia cordata</i>	Blätter/Stengel/Früchte	133 / 138 / 42	Novacek und Teterova (1987)
<i>Sorbus aucuparia</i>	Blätter/Stengel/Früchte	136 / 119 / 78	Novacek und Teterova (1987)

5.1.7 Selektive Mineralstoff-Aufnahme durch Wirt und Mistel

Gattungs-, art-, sorten- und herkunfts-spezifisch kann ein selektives Aufnahmevermögen zu unterschiedlichen Mineralstoff-Gehalten in ganzen Pflanzen bzw. einzelnen Organen führen (Heinze und Fiedler 1992). So nimmt die Gattung *Quercus* insbesondere Mn in weit höherem Maße auf als etwa die Gattungen *Malus* und *Ulmus*. Auf von der Eichenart abhängige Unterschiede deuten die unterschiedliche Bodenreaktion sowie der unterschiedliche Na-Gehalt in Blättern und Misteln von Standorten mit *Q. robur* bzw. *Q. petraea*. Sortenabhängig sind Unterschiede im Mineralstoff-Gehalt zwischen natürlichen Misteleichen und deren Nachkommen denkbar sowie zwischen unterschiedlich mistelresistenten Eichen. Herkunftsbedingte Unterschiede können zwischen kalk-meidenden und kalk-resistenten Eichen bestehen. Beim Übergang vom Boden in die Wurzel können ferner eichenspezifische, nach Bodenart, pH-Wert, Ca-Gehalt und anderen Bodenparametern differenzierte Mykorrhizen (Egli 1981, 1983) für die selektive Nährstoffaufnahme Bedeutung haben (Heinze und Fiedler 1992). Im vollständig ausgebildeten Caspary'schen Streifen intakter Endodermiszellen endet jedoch die bis dort mehr oder weniger passive Aufnahme des aus der Bodenlösung einströmenden und mit Mineralien angereicherten Wassers, indem die Pflanze aktiv die Konzentration der an das Xylem abgegebenen und in den Sproß verlagerten Mineralstoffe kontrolliert. Der Mistel fehlt die Endodermis (Glatzel und Balasubramaniam 1987), so daß der vom Wirtsholz umwallte Mistelsenker die durch offene Xylem-Xylem-Verbindungen (Abb. 5.5, Abb. 5.6) einströmende Flüssigkeit nicht in gleichem Maße kontrollieren kann wie der Wirt.

Abb. 5.5: Senker von *Viscum album* im jungen Holz von *Malus domestica*

Erläuterungen: Mistelsenker (a, im Querschnitt) im tangential geschnittenen sekundären Xylem des Wirtes (b, rötlich), das von Rindengewebe (c, blau) umgeben ist; Astralblau-/Safraninrot-Färbung als Zellulose-/Lignin-Färbung.



Fehlende Phloemverbindungen mit dem Wirt können jedoch zu einer spezifischen Anreicherung führen. So postulieren Luther und Becker (1987) eine passive Kalium-Falle: Als im Phloem sehr mobiles Element wird K im Wirt ständig in Organe mit starkem Bedarf verlagert, wobei es wiederholt im Xylem zirkuliert, in das die Mistel eingeschaltet ist. Von der Mistel aufgenommenes K zirkuliert dagegen nur noch zwischen den Mistelorganen, da keine Phloemverbindung zwischen Mistel und Wirt besteht.

Andere Autoren vermuten aktive Aufnahme-Mechanismen in undifferenzierten, grünen Parenchymzellen des an das Wirtsxylem grenzenden Senkers (Pate et al. 1991, Panvini und Eickmeier 1993, Bowie und Ward 2004) oder zwischen Rindensträngen und Wirtspfloem im jungen Bast (Horak 1974). Derzeit besteht kein Konsens, wie, wenn überhaupt, selektive Ionenaufnahme durch Misteln stattfindet (Glatzel und Devkota 2004). Unklar ist ferner, wie die Verlagerung von Fe und Mo in die Mistel begrenzt wird, wenn Eichen auf sauren Böden hohe Konzentrationen dieser Elemente im Xylem aufweisen.

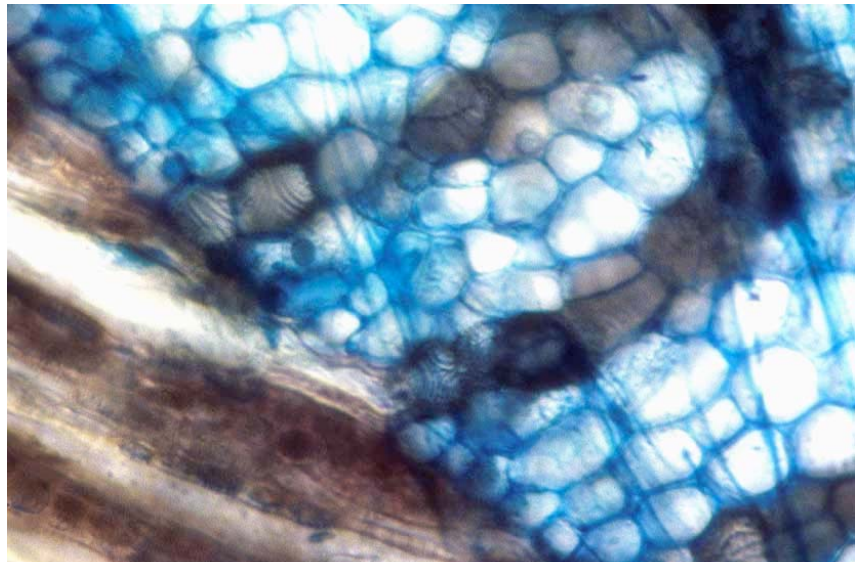


Abb. 5.6: Offene Xylemverbindung zwischen Mistel und Wirt (*Viscum album* auf *Malus domestica*)

Astralblau-/Safraninrot-Färbung
als Zellulose-/Lignin-Färbung.

In Untersuchungen zum Nährstoff-Aufnahmevermögen von Mistelgewebekulturen wurden für verschiedene Haupt- und Mikroelemente unterschiedliche Ergebnisse erzielt, je nachdem ob die Gewebekultur von Stengel- oder Blattzellen ausging (Barberaki und Kintzios 2002, Kintzios et al. 2003). Zu vermuten ist, daß Senkerparenchym- bzw. Rindenstrangzellen weitere Spezifitäten bezüglich stärkerer oder begrenzter Verlagerung von Mineralstoffen in die Mistel aufweisen können.

5.2 Einflüsse von kalk-induziertem Mn-Mangel in Eiche und Mistel

5.2.1 Einfluß auf das Wachstum von Eichen

Die an kultivierten Eichen im Freiland auf dem "Kalk"-Standort *Höfli-1* beobachteten Chlorosen (Abb. 5.7) ließen sich analytisch auf kalk-induzierten Mn-Mangel zurückführen (Tab. 4.46; Tab. 4.47). In großen Wurzelkästen (Abb. 5.8) konnten die Phänomene reproduziert werden, indem die auf dem "Kalk"-Boden gewachsenen Eichen kleine, nekrotische Blätter (Abb. 4.21), reduziertes Wachstum (Tab. 4.50a, Abb. 4.19; Abb. 4.20) und eine hohe Mortalität (Tab. 4.50b) zeigten. Bergmann (1993) und Göransson (1994) deuten diese Symptome als eine Folge von Mn-Mangel.



Abb. 5.7: Chlorotische Eiche am "Kalk"-Standort *Höfli*

Burger (1930) beobachtete, daß Eichen auf sauren Böden früher austrieben als Eichen auf kalkhaltigen Böden, deren Blätter wiederum früher alterten, und schloß daraus, daß bei gleichem Klima bodenchemische Einflüsse die Vegetationszeit um vier bis sieben Wochen verkürzen können. Entsprechend entwickelten sich Eichensämlinge in kleinen Wurzelkästen auf dem basischen "Kalk"-Boden langsamer als auf dem sauren "Ton"-Boden (Tab. 4.51) und wiesen bereits nach vier Monaten signifikant weniger Sproß- und Wurzel- sowie Blatt- und Feinwurzelmasse auf (Tab. 4.52); analytisch gingen damit erhöhte Ca- und geringere Mn-Gehalte im Sproß einher (Tab. 4.54; Tab. 4.55).

Eichen reagieren empfindlich auf kalk-induzierten Mn-Mangel. Messenger (1986) führte Chlorosen und Mn-Gehalte von 26 - 38 mg kg⁻¹ in den Blättern von *Quercus alba* auf den Eintrag basischen Oberflächenwassers zurück. Thomas et al. (1998) fanden in grünen bzw.

chlorotischen Eichenblättern von Kalk-Standorten ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.2$) Gehalte von 93 bzw. 20 mg kg^{-1} Mn, die ähnlich niedrig waren wie in chlorotischen Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten mit basischen Böden (Abb. 4.18; Tab. 4.36; Tab. 4.47). Thomas et al. (1998) vermuteten in den chlorotischen Eichenblättern auch latenten Fe-Mangel, da der Gehalt an physiologisch aktivem Fe eingeschränkt war.

Mn-oxidierende Bakterien sahen Hiltbrunner und Flückiger (1996) als Auslöser für Mn-Mangel bei chlorotischen Tannen (*Abies alba*) auf einem Kalk-Boden im Schweizer Jura.

Noch bevor in den Blättern Chlorosen auftraten, war in den Versuchen mit Wurzelkästen (Abb. 5.8) bei den Eichen auf "Kalk"-Boden das Wachstum der für die Nährstoffaufnahme entscheidenden Wurzelorgane (Seitenwurzeln, Mykorrhiza, Wurzelhaare) beeinträchtigt (Tab. 4.50a; Tab. 4.50b; Tab. 4.52; Tab. 4.53; Abb. 4.25). Insofern bei Mn-Mangel das apikale Längenwachstum von Wurzeln und die Seitenwurzelbildung gehemmt sind (Abbot 1967), kommt auch hierfür kalk-induzierter Mn-Mangel als Auslöser in Frage.

Abb. 5.8: Zweijährige Eichen (*Quercus robur*) in großen Wurzelkästen

Erläuterungen: Eichen gewachsen auf unbehandeltem Boden vom "Kalk"- (links) und "Ton"-Standort (rechts); Aussaat: 25. Mai 1988, Aufnahme vom 16. Juni 1989



Bei Mn-Mangel ist die Zellstreckung unterdrückt (Neumann und Steward 1968), eine Rolle spielen könnten dabei Beeinträchtigungen des Auxin-Haushaltes (Schwambach et al. 2005). Dies gilt nicht nur für Wurzeln, sondern auch für den Sproß, denn Morgan et al. (1976) identifizierten Mn-Mangel und den negativen Einfluß auf den Wuchsstoff-Haushalt als Auslöser für typische Chlorosesymptome in Form kleiner, gelber Blätter mit vorzeitiger Gewebealterung und verfrühtem Blattfall. Auf fehlende Streckung und vorzeitige Alterung ließen sich auch Phänomene an Eichenwurzeln auf "Kalk"-Boden zurückführen. Die Wurzeln bildeten weniger Masse als Eichen auf dem "Ton"-Boden (Abb. 4.23), waren gestaucht und hatten auf sterilisiertem "Kalk"-Boden keine Wurzelhaare (Abb. 4.25; Abb. 5.9).

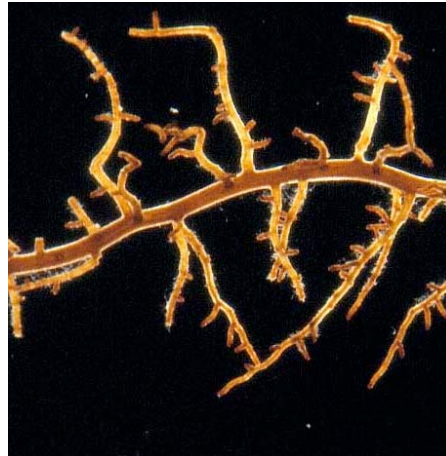


Abb. 5.9: Wurzeln von Eichen auf "Kalk"-Boden

Erläuterungen: gestauchte Eichen-Mykorrhizen vom Freilandboden (links); braune Seitenwurzeln ohne Wurzelhaare vom sterilisierten "Kalk"-Boden (rechts).

Mn ist als zentrales Element an der Wasserspaltung im Photosystem II beteiligt (Hess 1981, Richter 1988, Debus 2000, Hoganson und Babcock 2000), so daß Mn-Mangel im Sproß vor allem die Photosynthese beeinträchtigt (Amberger 1973, Amberger 1983, Bergmann 1993, Marschner 1986, Mengel und Kirkby 1982). Beobachtet wurden auch Struktur- und Funktionsverluste in Chloroplasten (Possingham et al. 1964). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen diesen Zusammenhang derart, daß Eichenblätter auf dem "Ton"-Standort grüner waren, während der Chlorophyll-Gehalt in Eichenblättern auf dem "Kalk"-Standort vermindert war (Tab. 4.48). Hier lag auch eine reduzierte Mn-Verfügbarkeit im Boden vor, die in enger Beziehung mit dem Mn-Mangel in Eichenblättern stand (Tab. 4.49).

Mn ist Bestandteil von Enzymen bzw. aktiviert zahlreiche enzymatische Prozesse wie Phosphorylierungsreaktionen, Enzyme des Zitrat-Zyklus, Peroxidasen, Peptidasen und die Arginase (Ash et al. 2000, Crowley et al. 2000, Gold et al. 2000, Rusnak 2000, Wittaker 2000, Yoder et al. 2000). Mn-Mangel hat entsprechend negative Auswirkungen auf den Stoffwechsel der Pflanze (Amberger 1973, Amberger 1983, Bergmann 1993, Marschner 1986, Mengel und Kirkby 1982, Vielemeyer et al. 1966, 1969a,b) und dürfte wesentlichen Anteil an der reduzierten Biomasse-Entwicklung von Eichensämlingen auf dem "Kalk"-Boden (Tab. 4.52; Abb. 4.23) gehabt haben.

Sterilisieren des "Kalk"-Bodens konnte neben dem Mn-Gehalt (Tab. 4.55) auch die Biomasse der betreffenden Eichensämlinge steigern (Tab. 4.52). Dies sprach dafür, daß die geringe Mn-Verfügbarkeit auf dem unbehandelten "Kalk"-Boden biotische Ursachen hatte und auf eine in basischen Böden häufig auftretende Oxidation von Mn^{2+} zu Mn^{4+} durch Mn-oxidierende Bakterien (Hiltbrunner und Flückiger 1996, Rengel 2000) zurückzuführen war.

5.2.2 Einfluß auf die Mistelempfänglichkeit von Eichen

Im Versuch mit großen Wurzelkästen (WUG) ließ sich auf dem mit Eichenhumus durchmischten "Ton"-Boden die am "Ton"-Standort *Disli-oben* aufgetretene "überraschende Mistelempfänglichkeit" einer als resistent geltenden Eiche reproduzieren (Abb. 4.22).

Auf Eichen, die im Gefäßversuch auf unterschiedlich behandelten "Kalk"-Böden wuchsen, überlebte im Vergleich mit Eichen auf den "Ton"- und "Sand"-Böden eine geringere Anzahl der ausgebrachten Mistelkeime (Tab. 4.56; Abb. 4.28; Abb. 5.10) und erwiesen sich weniger Eichen als mistelempfänglich als auf dem "Ton"-Boden. Auch die geringere Mistelempfänglichkeit der Eichen auf dem "Kalk"-Standort *Höfli* war also reproduzierbar.

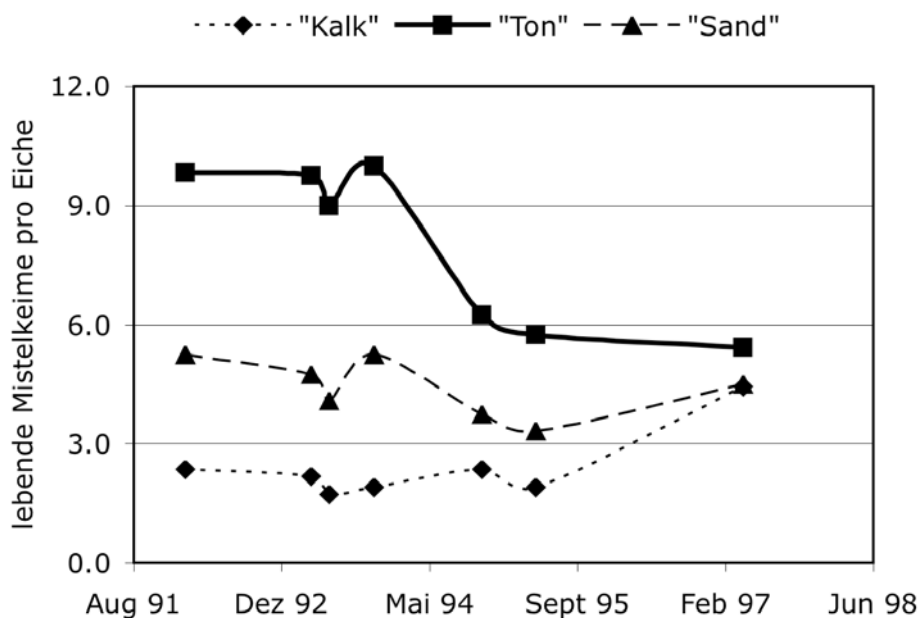


Abb. 5.10: Lebende Mistelkeime auf Eichen im Gefäßversuch mit "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Boden
Erläuterung: Lebende Mistelkeime = Mittelwert über 12 Eichen (3 Eichen pro Gefäß, Böden mit je 4 Behandlungen).

Untersuchungen über bodenchemische Einflüsse auf die Misteldisposition von Eichen fehlen bisher. Denkbar ist jedoch, daß die auf den "Ton"- und "Sand"-Böden im Vergleich mit dem "Kalk"-Boden erhöhte Mistelempfänglichkeit von Eichen mit der Mn-Verfügbarkeit in Zusammenhang stand. Denn auf dem "Kalk"-Boden vom Standort *Höfli*, der mit $7 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}_{\text{extr}}$ (Tab. A-15b) eine geringe Mn-Verfügbarkeit aufwies, begannen zuvor im Wachstum stagnierende Mistelkeimlinge Blätter zu treiben, nachdem die inzwischen 7-jährigen Eichen in einen besser mit Mn versorgten Boden ($41 \text{ bzw. } 19 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}_{\text{extr}}$ in Mistel- bzw. Sammelkompost; Tab. A-19) umgepflanzt worden waren (Abb. 4.28).

Diese Mistelkeime hatten zuvor mehrere Jahre in grünem Zustand überdauert, ohne jedoch Sproßwachstum zu zeigen (Abb. 5.11). Denkbar ist, daß die Veränderungen in der Rhizosphäre der Eichen auf dem "Kalk"-Boden eine erhöhte Mn-Aufnahme ermöglichten, die durch eine für Mn charakteristische Verlagerung (Hecht-Buchholz und Wiehe 1988, Göransson 1994, Pezeshki et al. 1999, Hoffmann et al. 2000, Hunter und Nicholson 1988, Marcar et al. 1988, Saur et al. 1992) auch in Bast und Rinde die Mn-Konzentration erhöhte.

Das veränderte Mn-Milieu in der Rinde könnte über Auxin-abhängige Prozesse (Morgan et al. 1976) positive Rückwirkungen auf die in der Wirtsrinde stagnierenden Mistelhaustorien gehabt und insbesondere die Zellstreckung (Neumann und Steward 1968) im Spitzenmeristem gefördert haben. Für die Mistel ist entscheidend, daß das im Bast vordringende Spitzenmeristem der Mistel in Kontakt mit dem Wirtskambium kommt und sich in ein interkalares Meristem umwandelt. Erst dies kann synchron zum sekundären Dickenwachstum des Baumes neues Gewebe bilden, das vom jungen Holz umwallt und zum funktionsfähigen Senker ausdifferenziert wird (Abb. 5.11).

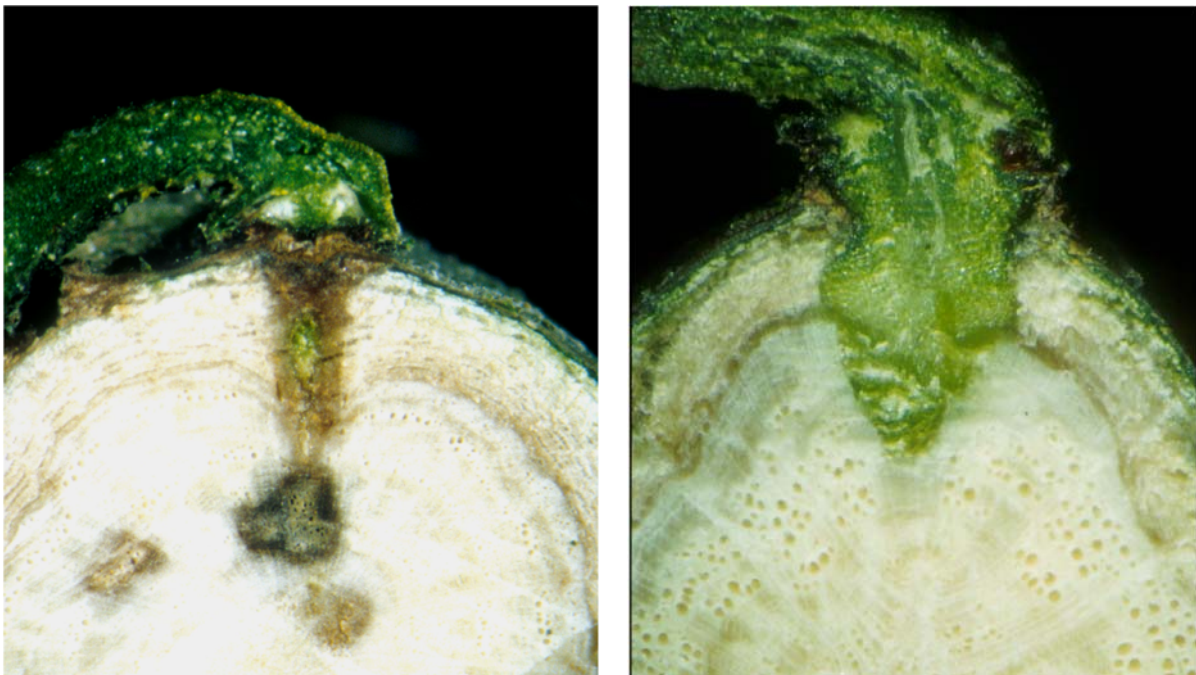


Abb. 5.11: Mistelhaustorien (*Viscum album*) auf Eiche (*Quercus robur*)

Erläuterungen: stagnierendes Spitzenmeristem des Haustorialstammes in der Rinde einer resistenten Eiche (links); etablierter Mistelsenker im jungen Wirtsholz (rechts) .

Ein ausgeglichener Auxin-Haushalt ist die Voraussetzung für eine optimale Kambium-Aktivität (Savidge 1988, Moyle et al. 2002). Für eine optimale Auxin-Aktivität ist aber ein ausgeglichener Mn-Haushalt wichtig (Morgan et al. 1976), so daß eine ausreichende Mn-

Versorgung auch Voraussetzung für die Senkerentwicklung und letztlich das Sproßwachstum von Misteln (Abb. 5.12) ist.



Abb. 5.12: Vierjährige Mistel (*Viscum album*) auf einer jungen Stieleiche (*Quercus robur*)

Besonders bei Eichen, die zu einer verstärkten Mn-Aufnahme neigen, könnten sich Störungen im Mn-Haushalt, vor allem Mn-Mangel, negativ auf die Misteldisposition auswirken und das Mistelwachstum unterdrücken. Durch die Eiche vermittelte ausreichende Mn-Gehalte könnten aber auch die von Salle (1983) postulierte enzymatische Aktivität des eindringenden Mistelhaustoriums fördern. Denkbar ist die Stimulierung einer Peroxidase, deren Beteiligung Ebermann und Lickl (1985) beim Eindringen von *Loranthus europaeus* in die Rinde von *Quercus robur* nachgewiesen haben. Als Mn-haltiges Enzym ist die Peroxidase bei verschiedenen Pilzarten auch am Ligninabbau beteiligt (Gold et al. 2000).

Kalkhaltige Böden könnten demgegenüber indirekt auch die mechanischen und biochemischen Eigenschaften der Eichenrinde beeinflussen, indem erhöhte Ablagerungen von Kristallen und Drusen aus Ca-Oxalat (Trockenbrodt 1995) mechanisch und physiologisch den Widerstand gegenüber dem eindringenden Spitzenmeristem der Mistel verstärken.

5.2.3 Einflüsse von Bodenparametern auf die Eichenmistel-Kultivierung

In drei Jahrzehnten Eichenmistel-Kultivierung konnte auf einer Gesamtfläche von 10.2 ha ein Bestand von 349 mistelempfänglichen Eichen aufgebaut werden (Tab. 4.57). Diese Zahl entsprach annähernd der Anzahl bekannter natürlicher Eichenmistel-Standorte in Frankreich und zeigt, daß *Viscum album* entgegen der Annahme von Tubeuf (1923) durchaus auch auf *Quercus robur* und *petraea* kultiviert werden kann. Entscheidende Voraussetzung hierfür ist die von Grazi (1987) entdeckte "genetische Disposition" natürlicher misteltragender Eichen. Die Bilanz nach 30 Jahren Eichenmistel-Kultivierung verdeutlicht jedoch, daß auch Standortfaktoren, insbesondere die Bodenreaktion, den Selektionserfolg stark beeinflussen: Auf kultivierten Standorten mit basischen Böden (Abb. 5.13) wurden prozentual weniger mistelempfängliche Eichen selektiert als auf Standorten mit sauren Böden (Tab. 4.59; Abb. 4.29; Abb. 4.30).

Weil auf Standorten mit basischen Böden bezogen auf die jeweilige Fläche weniger mistelempfängliche Eichen wuchsen und pro Flächeneinheit mehr Eichen für die Selektion einer mistelempfänglichen Eiche nötig waren als auf Standorten mit saurer Bodenreaktion (Tab. 4.59), war der Arbeitsaufwand pro mistelempfängliche Eiche auf kultivierten Standorten mit basischen Böden um etwa 40% höher als auf Standorten mit sauren Böden.

Ergänzend zur Auswahl geeigneter Nachkommen natürlicher Misteleichen kann durch entsprechende Standortwahl (saure Böden) der Aufwand in der Eichenmistel-Kultivierung reduziert und der Selektionserfolg erhöht werden.



Abb. 5.13: Verschulte 14-jährige Eichen auf dem kultivierten Standort *Nusshofen*

Bodenbedingte Unterschiede in der Selektion mistelempfänglicher Eichen fielen bei Veredelung geringer aus als bei Baumschulanzucht (Tab. 4.58; Abb. 4.29; Abb. 4.30). Das physiologische Alter und die Anfälligkeit veredelter Misteleichen gegenüber Wind- und Schneebruch lassen diese Anzuchtmethode jedoch für eine nachhaltige Eichenmistel-

Kultivierung als wenig geeignet erscheinen, so daß sie als Kompensation negativer Selektionseffekte durch basische Böden ausscheidet.

Gute Selektionserfolge wurden mit der Methode *Direktsaat und Selektion von Eichen auf dem Endstandort* erzielt, die ab 1990 auf einem als optimal erachteten, das heißt sauren, Ca-armen und Mn- sowie Fe-reichen Boden durchgeführt wurde; bezogen auf Erstsaatplätze und zum Selektionszeitpunkt wachsende Eichen ergab sich ein vergleichsweise hoher Anteil von 37% mistelempfänglicher Eichen (Tab. 4.61; Abb. 5.14). Im Vergleich dazu wurden auf den ebenfalls ab 1990 kultivierten Standorten *Nusshofen* und *Courcelon*, die basische Böden mit einem $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ von 7.8 aufwiesen, nur je 11% der Eichen aus Baumschulanzucht als mistelempfänglich selektiert (Tab. 4.58).

Auch im Vergleich mit der Baumschulanzucht von Eichen auf Standorten mit saurer Bodenreaktion fiel die Bilanz der *Direktsaat*-Methode positiv aus (Abb. 5.14; Abb. 5.15). Mit etwa 7 Jahren ab Eichelaussaat war die mittlere Selektionsdauer vergleichsweise kurz und konnte unter optimalen Verhältnissen (betreffend Saatgut, Aussaatzeitpunkt und Abwehr von Fraßschäden) in Einzelfällen sogar auf 4 bis 5 Jahre verkürzt werden (Tab. A-26, Tab. A-27).

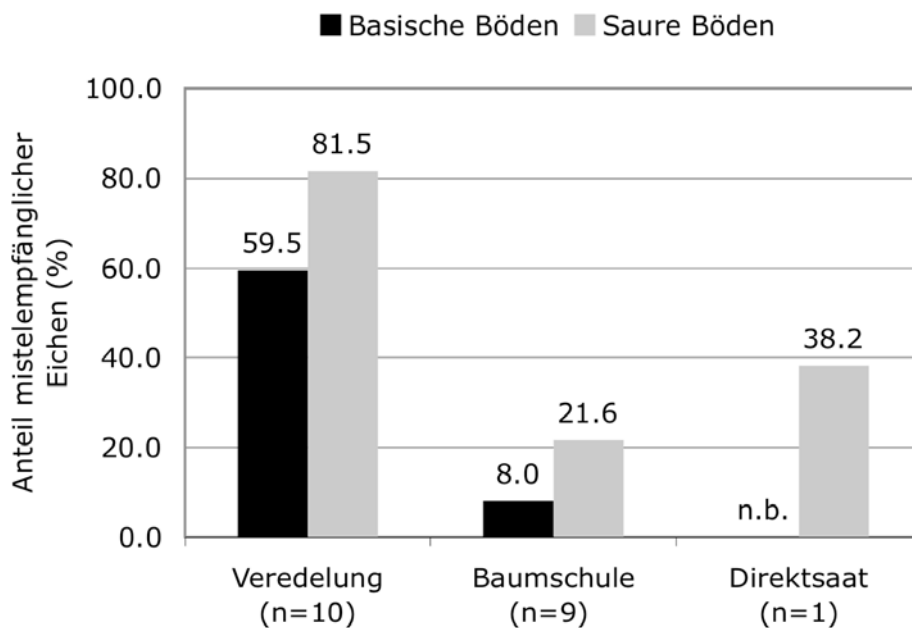


Abb. 5.14: Anteil mistelempfänglicher Eichen in unterschiedlich vermehrten Eichenbeständen auf kultivierten Standorten mit sauren und basischen Böden

Erläuterung: n = Anzahl Standorte



Abb. 5.15: 15-jährige direkt auf dem Endstandort gesäte Eiche

Erläuterung: Aussat im Oktober 1990, Aufnahme von April 2006.

Von 87 mistelempfänglichen Eichen auf kultivierten Standorten mit basischen Böden (Tab. 4.59) trugen 28 Bäume genug Misteln, um als kultivierte Ernteeichen eingestuft zu werden (Tab. 4.57; Tab. 4.58). Vitalität und Produktivität dieser wertvollen Bäume können im Hinblick auf eine verbesserte Mn-Versorgung durch pH-senkende Kulturmaßnahmen (Schnug 1982, Haneklaus et al. 2005). und Düngung mit Mn-haltigen Komposten gefördert werden. Durch Blattdüngung mit Mn-Sulfat oder Mn-Chelat (Schnug 1985) könnte im Frühjahr und Sommer während der Hauptbedarfszeit auftretender Mn-Mangel kompensiert werden. Zu prüfen ist ferner, inwieweit die Ausbringung Mn-reduzierender Bakterien (Rengel 2000) auf der Baumscheibe praktikabel ist und die Mn-Verfügbarkeit nachhaltig zu steigern hilft.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß basische, Ca_{extr} -reiche und Mn_{extr} - sowie Fe_{extr} -arme Böden das Eichenwachstum durch kalk-induzierten Mn-Mangel beeinträchtigten und die genetische Disposition der Nachkommen natürlicher Misteleichen unterdrückten. Im Vergleich dazu ging die hohe Vitalität von Eichen auf sauren, Ca_{extr} -armen und Mn_{extr} - sowie Fe_{extr} -reichen Böden mit einer erhöhten Mistelempfänglichkeit einher. Eichenmistel-Kultivierung auf Standorten mit sauren Böden kann den Selektionsaufwand für Misteleichen minimieren und leistet einen Beitrag zur Steigerung der Erträge in der Mistelproduktion.

5.3 Potentiell toxische Elemente in Eichenmisteln

Bei niedrigen pH-Werten im Boden, wie sie für natürliche Eichenmistel-Standorte charakteristisch waren, ist die Pflanzenverfügbarkeit potentiell toxischer Elemente erhöht (Mengel und Kirkby 1982, Bergmann 1993, Alloway 1999). Dadurch kann es in Eichenmisteln zu einer unerwünschten Anreicherung dieser potentiellen Schadstoffe kommen, was sich wertmindernd auf die pharmazeutische Qualität von Eichenmistel-Extrakten auswirken könnte. In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb selektiv auch der Gehalt an einigen potentiell toxischen Elementen bestimmt.

Wie aufgrund der erhöhten Pflanzenverfügbarkeit zu erwarten war, wiesen Eichenmisteln auf Standorten mit sauren Böden im Vergleich mit basischen Böden signifikant erhöhte Al-, Pb- und Ni-Gehalte auf (Tab. 4.65). Die mittleren Al-, Pb-, Ni-, Cr- und Cd-Gehalte in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Standorten (Tab. 4.62) lagen jedoch in einem für die meisten höheren Pflanzen als üblich angesehenen Bereich (Tab. 5.10). Nur vereinzelt traten Höchstwerte in Eichenblättern bzw. Eichenmisteln von 6.9 bzw. 10.2 mg kg⁻¹ Pb und von 1.8 bzw. 1.3 mg kg⁻¹ Cd (Tab. 4.62) auf, die nach Rademacher (2003) als exzessive Aufnahme einzustufen waren.

Tab. 5.10: Gehalt (mg kg⁻¹) an potentiell toxischen Elementen in verschiedenen Pflanzen

Pflanzenorgan	Al	Pb	Ni	Cr	Cd	Quelle
Eichenblätter	107	2.03	1.21	0.48	0.28	diese Arbeit, Mittelwerte
Eichenblätter	219	6.90	3.85	1.70	1.80	diese Arbeit, Maxima
Eichenmisteln	123	2.50	2.20	0.19	0.21	diese Arbeit, Mittelwerte
Eichenmisteln	266	10.2	7.40	0.54	1.30	diese Arbeit, Maxima
Pflanzenblätter	50 – 400	2.0 – 7.0	1.0 – 2.0	0.02 – 1.0	0.20 – 3.0	Bergmann 1993
Pflanzenblätter	~ 200	2.0 – 3.0	1.0 – 5.0	0.02 – 1.0	0.10 – 1.0	Mengel & Kirkby 1982
Laubblätter	k.A.	0.83 - 7.52	2.5 – 7.18	k.A.	1.65	Gonzales Soto et al. (1996)
Eichenblätter	k.A.	2.55	4.18	k.A.	3.35	Gonzales Soto et al. (1996)
Pflanzen	k.A.	0.2 – 20.0	0.02 – 5.0	0.03 – 14.0	0.1 – 2.4	Alloway 1999 *
Pflanzen	k.A.	> 30.0	> 8.0	> 2.0	> 4.0	Alloway 1999 **

Erläuterungen: * = Spannweite der Gehalte, ** = kritische Konzentration für Ertragsminderung; k.A. = keine Angaben.

Wie die Gehalte der meisten Haupt- und Spurenelemente (Tab. 4.25) waren auch die Al-, Pb-, Ni- und Cd-Gehalte in Eichenmisteln um den Faktor 1.4 bis 2.8 gegenüber Eichenblättern erhöht (Tab. 4.64). Daraus folgt, daß diese potentiell toxischen Elemente nicht

spezifisch akkumuliert, sondern in ähnlichem Ausmaß wie andere Mineralstoffe in die Mistel verlagert und dort angereichert wurden. Cr wurde, wie auch Fe und Mo (Tab. 4.25), nur begrenzt aus dem Wirtsxylem in Eichenmisteln verlagert und war in den untersuchten zweijährigen Mistelsprossen geringer konzentriert als in Eichenblättern (Tab. 4.64).

Die Ergebnisse lassen insgesamt den Schluß zu, daß die Böden der untersuchten natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorte nur geringe Gehalte an potentiell toxischen Elementen aufwiesen. Denn Kutyna und Wlodarczyk (2004) fanden auf Standorten mit belasteten Böden zum Teil stark erhöhte Schadelement-Konzentrationen in *Viscum album*. Deshalb kann nicht ausgeschlossen werden, daß Eichen auf Standorten mit sauren und geogen stark belasteten Böden auch in der Mistel eine Akkumulation potentiell toxischer Elemente induzieren würden, die der beobachteten Mn-Anreicherung (Abb. 4.7; Abb. 4.8) vergleichbar wäre. Dies gilt insbesondere für Pb und Ni, deren Gehalte in Eichenmisteln besonders eng und positiv mit den prägenden Bodenparametern Ca_{extr} -Gehalt und pH-Wert korreliert waren (Tab. 4.66; Abb. 4.37). Bei der Kultivierung und vor allem der Ernte von Eichenmisteln (Abb. 5.16) sind deshalb potentiell belastete Standorte, die sich in der Nähe



von Straßen, Industrieanlagen oder Erzgruben befinden oder anderweitig unter dem Einfluß potentiell toxischer Immissionen stehen, zu meiden.

Abb. 5.16: Etwa 30-jährige kultivierte Ernteeiche mit großen Mistelbüschen auf dem Standort *Disli*

5.4 Boden- und wirtsabhängige Mineralstoffe in Mistelextrakten

5.4.1 Mineralstoff-Gehalte im pharmazeutischen Endprodukt (Iscador)

Das pharmazeutische Endprodukt aus Eichenmisteln (Iscador® quercus) unterschied sich von den wirtsspezifischen Präparaten aus Tannen-, Apfel-, Kiefern und Ulmenmisteln signifikant durch erhöhte Mn-, Fe-, Na- und Cu-Gehalte (Tab. 4.67). Aufgrund der im Vergleich mit anderen Laubbäumen erhöhten Mn-Gehalte in Misteln und Blättern von Eichen (Abb. 4.44; Tab. 4.71) waren die hohen Mn-Gehalte im Iscador® quercus (Tab. 4.67; Abb. 4.38) als wirtsspezifische Prägung einzustufen, deren Ausmaß allerdings boden-abhängig war. Voraussetzung für hohe Mn-Gehalte in Eichenblättern (Tab. 4.14) und Eichenmisteln (Tab. 4.24) waren niedrige Ca_{extr} -Gehalte, pH-Werte sowie Humus-Gehalte im Boden, die für die natürlichen Eichenmistel-Standorte in Frankreich charakteristisch waren. Insofern ist die Kultivierung der Eichenmistel auf sauren Böden als standortgerecht einzustufen, und Eichenmistel-Ernten auf Standorten mit saurer Bodenreaktion sichern hohe Mn-Gehalte als wirtsspezifische und bodenabhängige Qualität der Eichenmistel.

Der Fe-Gehalt im Eichenmistel-Präparat war im Vergleich zu anderen wirtsspezifischen Präparaten ebenfalls signifikant erhöht (Tab. 4.67; Abb. 4.40). Das Merkmal war insofern bodenabhängig, als die Böden natürlicher Eichenmistel-Standorte vergleichsweise hohe Fe_{extr} -Gehalte aufwiesen (Tab. 4.1) und der Fe-Gehalt in Eichenmisteln negativ mit dem Ca_{extr} -Gehalt und pH-Wert korreliert war (Tab. 4.24). Die im Vergleich zu Mn begrenzte Fe-Verlagerung in den Sproß von Eichen (Tab. 4.55; Abb. 4.26) und anderen Pflanzen (Tab. 5.8) legt nahe, das eine wirtsspezifisch erhöhte Fe-Affinität der Eiche stärker in den (im Freiland nicht beprobten) Wurzeln zum Ausdruck kommen könnte als in den Blättern. Deshalb sprechen fehlende Korrelationen zwischen dem Fe-Gehalt in Eichenblättern und dem pH-Wert sowie dem Ca_{extr} - und Fe_{extr} -Gehalt im Boden (Tab. 4.14) nicht gegen eine Wirtsspezifität der erhöhten Fe-Gehalte im Eichenmistel-Präparat. Aufgrund der begrenzten Fe-Verlagerung in Eichenmisteln (Tab. 4.25; Abb. 4.9) fiel der Unterschied im Fe-Gehalt zu den anderen wirtsspezifischen Iscador®-Sorten weniger deutlich aus als für Mn (Tab. 4.67).

Hohe Na-Gehalte im Eichenmistel-Präparat (Abb. 4.41) waren insofern bodenabhängig, als die Na-Gehalte in Blättern und Misteln von Eichen (Tab. 4.14 und Tab. 4.24) sowie die Na-Anreicherung in Eichenmisteln (Tab. 4.26) signifikant positiv mit dem extrahierbaren Zn_{extr} -Gehalt im Boden korreliert waren. Im Vergleich mit Traubeneichen-Standorten signifikant erhöhte Na-Gehalte in Misteln (Tab. 4.21) und erhöhte Zn_{extr} -Gehalte im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte mit Stieleichen (Tab. 4.6) legen den Schluß nahe, daß die

hohen Na-Gehalte im Iscador[®] quercus auch von der Wirtsart abhängig waren und durch den hohen Anteil von Stieleichen unter den Ernteeichen (Abb. 4.1) geprägt wurden. Die begrenzte Anzahl von Traubeneichen-Standorten schränkt diese Aussage allerdings ebenso ein, wie vorerst offen bleiben muß, welche Funktion erhöhte Zn_{extr} -Gehalte im Boden für die Na-Anreicherung in Eichenblättern und Eichenmisteln haben könnten.

Denkbar ist, daß hohe Na-Gehalte in Blättern und Misteln von Eichen mit unspezifischen Wirkungen im Wasserhaushalt (Amberger 1983) zusammenhängen, die je nach Eichenart zum Tragen kommen. Nach Dengler (1980) bestehen unterschiedliche Ansprüche hinsichtlich der Wasserversorgung, indem Stieleichen gut mit Wasser versorgte Böden besiedeln und gelegentliches Überfluten vertragen, während Traubeneichen Böden bevorzugen, die während der Vegetationsperiode ein eher geringes Wasserangebot haben. Ferner sollen Stieleichen widerstandsfähiger gegenüber anhaltender Überflutung (Koestner et al. 1968) und Dauerfrost (Dengler 1980) sein als Traubeneichen.



Abb. 5.17: Traubeneiche (*Quercus petraea*) mit sechsjähriger Mistel (*Viscum album*)

Erhöhte Cu-Gehalte im Iscador[®] quercus (Tab. 4.67) könnten mit den sauren Böden natürlicher Eichenmistel-Standorte sowie einer generellen Tendenz zur Cu-Anreicherung in der Mistel zusammenhängen, weniger dagegen mit der Eiche als Wirt. Denn die Cu-Gehalte in Eichenmisteln (Tab. 4.24) und Eichenblättern (Tab. 4.14) sowie die Cu-Anreicherung in Eichenmisteln (Tab. 4.26) waren nicht mit Bodenparametern korreliert. Allerdings zeigte der Cu_{extr} -Gehalt im Boden natürlicher Eichenmistel-Standorte eine negative Beziehung zum Ca_{extr} -Gehalt und positive Beziehungen mit dem Mn_{extr} - und Fe_{extr} -Gehalt (Tab. 4.7).

Hohe Mn-, Fe-, Na- und Cu-Gehalte im Iscador[®] quercus sind durch Mistelernten auf Stieleichen-Standorten mit sauren Böden zu sichern, die niedrige Ca_{extr} - und Humus-Gehalte sowie eine gute Mn_{extr} -, Fe_{extr} -, Zn_{extr} - und Cu_{extr} -Versorgung aufweisen.

Ca wurde im Vergleich zu anderen Mineralstoffen (Tab. 4.67) und bezogen auf den hohen Gehalt in Eichenmisteln (Tab. 4.16) durch den pharmazeutischen Prozeß am stärksten aus dem flüssigen Extrakt ausgeschlossen (Abb. 4.42: Abb. 4.43). Eine Erklärung hierfür könnte in der speziellen Ca-Physiologie von *Viscum album* liegen, die Horak (1974) dem Oxalat-Typ zugeordnet, der aus dem Wirtsxylem einströmendes Ca durch Bindung an Oxalat entgiftet. Im Vergleich dazu gehört *Loranthus europaeus*, wie andere höhere Pflanzen (Horak und Kinzel 1971), zum Kalium-Typ, der Ca durch stark erhöhte K-Gehalte kompensiert, aber kaum Ca-Oxalat bildet. Nicht wasserlösliches Ca-Oxalat (Horak 1974) wird wahrscheinlich nach der Fermentation der 50%igen Mistelansätze mit dem festen Preßrückstand, der viel Ca enthielt (Tab. 4.70), aus dem pharmazeutischen Prozeß ausgeschleust. Die Laubholzmistel-Präparate Iscador® quercus und Iscador® mali wiesen dabei die niedrigsten Ca-Gehalte auf, während die Nadelholzmistel-Präparate Iscador® pini und Iscador® abietis im Vergleich dazu um den Faktor 4 bis 7 höhere Ca-Gehalte hatten. Besonders Ca-reich war das Ulmenmistel-Präparat Iscador® ulmi (Tab. 4.67). Der K:Ca-Quotient als Verhältnis zwischen dem in der Mistel am stärksten angereicherten (K) und dem im pharmazeutischen Prozeß am stärksten ausgeschlossenen (Ca) Hauptelement verdeutlicht dieses Merkmal (Abb. 5.18).

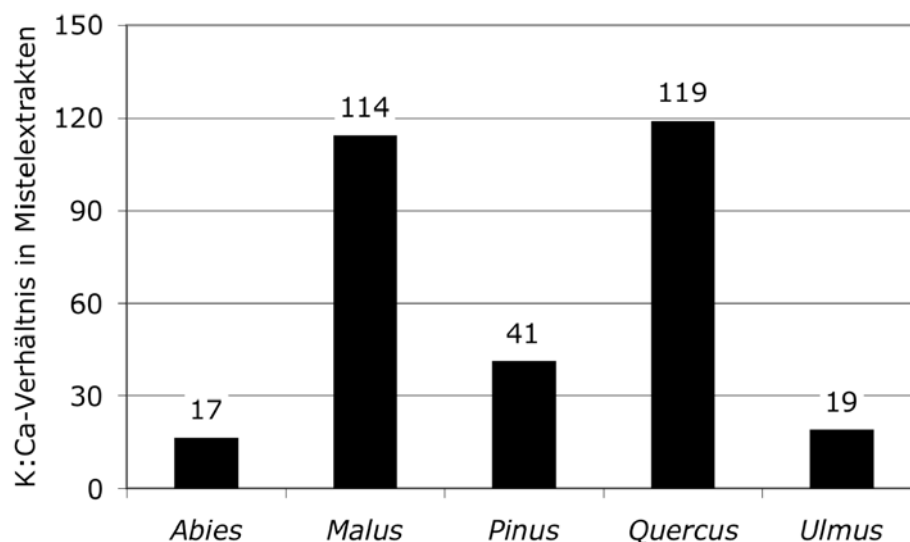


Abb. 5.18: K:Ca-Verhältnis in wirtsspezifischen Mistelpräparaten (Iscador®)

Erläuterung: Iscador® hergestellt aus Misteln von den Wirtsbäumen *Abies*, *Malus*, *Pinus*, *Quercus* und *Ulmus*; n = 5.

5.4.2 Mineralstoffe in Extrakten aus Sommer- bzw. Wintermisteln

In Extrakten aus Sommermisteln war der Ca-Gehalt über alle Wirtsbäume erheblich niedriger als in Extrakten aus Wintermisteln (Tab. 4.68, Abb. 4.42). Im Vergleich zu Laubholzmisteln wiesen Extrakte aus Nadelholzmisteln allerdings nennenswerte Ca-Gehalte auch im Sommer auf (Tab. 4.68, Abb. 4.42), was auf eine unterschiedliche Ca-Physiologie schließen läßt. Horak (1974) fand im Sommer in *Viscum album* auf *Abies* deutlich weniger an Oxalat gebundenes Ca als in Laubholzmisteln von *Crataegus* und *Populus*.

Die Ulmenmistel gab vor allem im Winter mehr Ca in den flüssigen Extrakt ab als die beiden anderen Laubholzmisteln von Apfel und Eiche (Tab. 4.68, Abb. 4.42). Im Vergleich zu Eichen gediehen Ulmen auf dem basischen Boden vom "Kalk"-Standort Höfli gut und ließen kräftigen Mistelwuchs zu. Von daher erscheint die Eiche eher als calcophober Mistelwirt, während die Ulme als calcophiler Mistelwirt eine offensichtlich stärkere Ca-Affinität über die Mistel bis in das pharmazeutische Endprodukt (Iscador® ulmi) weitergibt.

Im Vergleich zu Winter-Extrakten erhöhte Mn-Gehalte in Sommer-Extrakten aus Eichenmisteln (Tab. 4.68) dürften mit dem in Juniprogen erhöhten Anteil an Mistelblättern zusammenhängen, die im Vergleich zu Stengeln höhere Mn-Gehalte aufweisen (Novacek und Teterova 1987, Pate et al. 1991, Goedings 1995). Ferner trugen niedrige Mn-Gehalte in Extrakten aus Eichenmistelbeeren (Tab. 4.68), die 50% der im Winter verarbeiteten Mistelorgane ausmachen (Kap. 3.6), zu den niedrigeren Mn-Gehalten im Winter-Extrakt bei.

Gegenüber Sommer-Extrakten erhöhte Mn-Gehalte in Winter-Extrakten aus Tannenmisteln (Tab. 4.68) sowie relativ hohe Mn-Gehalte im Tannenmistel-Präparat (Iscador abietis; Tab. 4.67) lassen sich über erhöhte Blattanteile erklären. Blätter von Tannenmisteln können bei jährlich anwachsender Biomasse drei bis vier Jahre alt werden (Goedings 1995), so daß im Winter geerntete Tannenmisteln mehr Blattmasse aufweisen als im Sommer geerntete.

Auch die im Sommer-Extrakt aus Kiefern-, Apfel-, Eichen- und Ulmenmisteln im Vergleich zum Winter-Extrakt erhöhten Fe-Gehalte (Tab. 4.68) lassen sich durch höhere Blattanteile der jeweiligen Sommermisteln erklären. Tannenmisteln wiesen dagegen mit einem im Winter erhöhten Blattanteil konsequenterweise auch im Winter-Extrakt höhere Fe-Gehalte als im Sommer auf. Das Tannenmistel-Präparat hatte allerdings den niedrigsten Fe-Gehalt der fünf wirtsspezifischen Iscador®-Sorten, unterschied sich also im Fe-Gehalt am stärksten vom Eichenmistel-Präparat. Im Vergleich hierzu zeigten Iscador® quercus und Iscador® abietis ähnliche Mn-Gehalte (Tab. 4.68).

Stichproben im Preßrückstand, der als trockener Rückstand aus dem pharmazeutischen Prozeß ausgeschieden wird, ließen den Schluß zu, daß bei der Eichenmistel-Verarbeitung der Mn-Gehalt in weit höherem Ausmaß in den flüssigen Extrakt übergang als bei Kiefern- und Apfelmisteln (Tab. 4.70), die bodenbedingt (Kiefer) bzw. wirtsbedingt (Apfel) keine überproportionale Mn-Aufnahme hatten und deshalb kein überschüssiges Mn an den flüssigen Extrakt abgeben konnten.

Das Mn:Ca-Verhältnis verdeutlicht die gegenläufige Dynamik von Ca und Mn in Bezug auf das Wachstum und die pharmazeutische Verarbeitung der Eichenmistel: Der Quotient aus dem Mn- und dem Ca-Gehalt wird vom Boden über das Eichenblatt bis in die Mistel zunächst kleiner, bevor er im pharmazeutischen Extrakt aus der Sommermistel drastisch ansteigt und schließlich mit einem Wert von etwa 1.5 als mittlere Qualität das pharmazeutische Endprodukt aus der Eichenmistel kennzeichnet (Abb. 5.19).

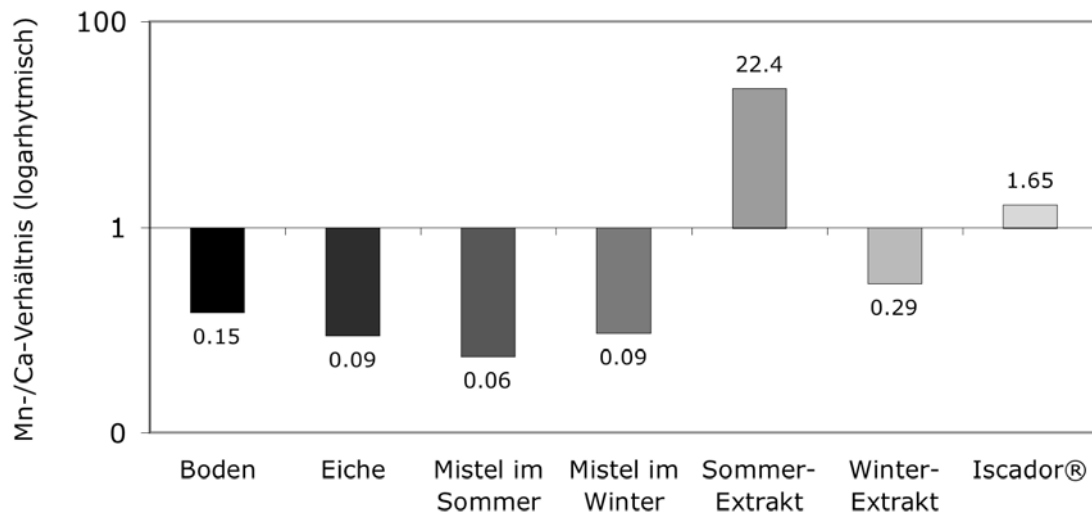


Abb. 5.19: Mn:Ca-Verhältnis in Boden, Eichenblättern und Misteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten sowie in pharmazeutischen Extrakten und im Iscador® aus Eichenmisteln

Auslöser für die unterschiedliche Dynamik von Mn und Ca im pharmazeutischen Prozeß dürften unterschiedliche Entgiftungsmechanismen der Pflanzenzelle sein: Überschüssiges Mn wird in die Vakuole ausgelagert (Marsh et al. 1988) und kann während der Mistelverarbeitung (Walzen, Fermentation, Abpressen) zu einem großen Teil in den flüssigen Extrakt übergehen. Überschüssiges Ca dagegen wird größtenteils als nicht wasserlösliches Ca-Oxalat entgiftet (Horak 1974) und mit dem Preßrückstand aus dem pharmazeutischen Prozeß ausgeschieden.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß eine natürliche Präferenz von Eichen für saure, Ca_{extr} -arme, Mn_{extr} - und Fe_{extr} -reiche Böden durch die Akkumulation von Mn an die Eichenmistel weitergegeben und durch die pharmazeutische Verarbeitung zweijähriger

Mistelsprosse gesteigert wurde. Pharmazeutische Extrakte aus Eichenmisteln unterschieden sich von anderen wirtsspezifischen Mistel-Extrakten insbesondere durch hohe Mn-, aber auch erhöhte Fe-, Cu und Na-Gehalte sowie niedrige Ca-Gehalte. Durch Eichenmistel-Ernten auf Standorten mit sauren, Mn-reichen Böden kann der hohe Mn:Ca-Quotient als Qualitätsmerkmal für Eichenmistel-Extrakte gewährleistet werden. Dies gilt insbesondere für Sommer-Ernten sowie Pflanzen-Ernten im Winter, bei denen erhöhte Blattanteile zu hohen Mn-Konzentrationen führen. Die Ernte von Eichenmistelbeeren als eher Mn-arme Organe kann auch auf Standorten mit basischen Böden durchgeführt werden. Standortgerechte Eichenmistel-Kultivierung auf Standorten mit sauren, Ca_{extr} -armen, Mn_{extr} - und Fe_{extr} -reichen Böden trägt zur nachhaltigen Sicherung qualitativ hochwertiger Eichenmistel-Erntebestände bei; ergänzend kann auf bestehenden Eichenmistel-Standorten mit basischen Böden durch gezielte Bodenmeliorationen (pH-Absenkung, Erhöhung der Bodenfeuchte, Mn-Düngung) das Wachstum von Eichen gefördert und die Mn-Versorgung misteltragender Eichen gesteigert werden.

5.5 Therapeutische Relevanz von Mineralstoffen in der Krebstherapie

Abschließend soll diskutiert werden, inwieweit Mn als in Eichenmisteln speziell angereichertes Spurenelement eine therapeutische Relevanz in der Krebsbehandlung haben könnte. In lebenden Organismen gehört Mn zu den essentiellen Spurenelementen. Der menschliche Körper enthält 10 bis 40 mg Mn und benötigt Mn für den Aufbau der Knochen, die bis zu 40% des Gesamt-Mn enthalten (MWW 2004).

Mn zeigt eine hohe Resistenz gegenüber Oxidationsprozessen sowie Flexibilität gegenüber Redoxvorgängen; es übernimmt wichtige Funktionen in Enzymen und Proteinen, darunter in der Wasserspaltung und Sauerstoffproduktion im Photosystem II der Pflanzen. Besonderes Interesse verdient die in allen Lebewesen vorkommende, in höheren Organismen in den Mitochondrien lokalisierte Mn-spezifische Superoxid-Dismutase (Mn-SOD); dieses Enzym schützt den Organismus vor Radikalen, die nicht nur für die Alterung, sondern auch für die Krebsentstehung verantwortlich gemacht werden (MORGAN 2000, Whittaker 2000).

Als unspezifische Mn-Funktion im komplexen Krebsgeschehen wurde von Leonard et al. (1986) die überproportionale Aufnahme von Mikronährstoffen beschrieben, die einen Tumorrückgang induzieren kann. Im Vergleich dazu sehen die Autoren Hauptnährstoffe als Energielieferanten und eher krebsstimulierend an.

Spezifische Mn-Wirkungen in der Tumorabwehr legen Arbeiten von McColleston (1979, 1983) nahe, der in Tierversuchen die Abstoßung implantierter Tumore beobachtete, wenn den Mäusen gleichzeitig mit der Tumorumplantation Mn in Form von $MnCl_2$ appliziert wurde. Da parallele Versuche mit anderen Kationen ähnlicher Größe diese Wirkung nicht auslösen konnten, schloß McColleston (1983) unspezifische Kationen- oder Salzeffekte aus und vermutete vielmehr spezifisch an Mn gebundene Vorgänge. Auch Smialowicz et al. (1985) konnten mit einer einzigen $MnCl_2$ -Injektion an Mäusen, denen Tumorzellen eingepflanzt waren, Immunreaktionen im Sinne der Krebsabwehr demonstrieren.

Verstärkt untersucht wird seit längerem die Funktion der Mn-haltigen Superoxid-Dismutase (Mn-SOD), die als starkes Antioxidans wirkt und zentrale Bedeutung in der Immunabwehr hat (Oberley und Buettner 1979, Diplock 1990, Li und Oberley 1997, Kim et al. 2001, Oberley 2001; Cullen et al. 2003, Weydert et al. 2003, Duan H et al. 2003, Venkataraman et al 2005, Oberley 2005). Da Krebszellen oft arm an Mn-SOD sind (Sun 1990, Cullen et al. 2003), wird in den Experimenten versucht, die Mn-SOD-Aktivität durch zusätzliche Mn-SOD-Gaben oder durch Anregung der betreffenden genetischen Expression zu stimulieren. Sowohl in vitro als auch bei in-vivo-Tierversuchen traten danach zahlreiche Effekte auf, die im Rahmen der Tumorabwehr als positiv zu bewerten sind.

Cullen et al. (2003) konnten dabei zeigen, daß im Vergleich mit anderen Superoxid-Dismutase-Typen (CuZn-SOD) speziell die mit Mn gekoppelte Mn-SOD als Tumorantigen wirkte. Kim et al. (2003) zufolge ging spezifisch der Mangel an Mn-SOD mit schlechten Prognosen für Krebspatienten einher, während die CuZn-SOD nicht in gleicher Weise wie Mn-SOD mit schlechten Krebsprognosen korreliert war.

In Arbeiten von Shrivastav et al. (2002) war der Komplex aus Mn mit einem neu entwickelten Liganden (N-salicyloyl-N'-o-hydroxythiobenzhydrazid) in der Lage, in vitro das Wachstum von Tumorzellen zu hemmen. Fe-, Co- und Zn-Komplexe erzielten keine Hemmwirkung, während Cu- und Ni-Komplexe ähnliche Effekte wie Mn-Komplexe hervorriefen. In-vivo angewendet, verlängerte der Mn-Komplex die Überlebenszeit tumortragender Mäuse, führte zu Tumorrückgang und induzierte Apoptose in Lymphozyten. Shrivastav et al. (2003) konnten ferner zeigen, daß tumorhemmende Wirkungen nicht auftraten, wenn der Ligand allein appliziert wurde, sondern nur, wenn Komplexe aus N-salicyloyl-N'-o-hydroxythiobenzhydrazide und Mn, Cu bzw. Ni eingesetzt wurden.

Kilic et al. (2004) fanden bei Mineralstoffanalysen im Kopfhair von Krebspatientinnen im Vergleich zu gesunden Probandinnen signifikant reduzierte Mn-Gehalte (Tab. 5.11); gleichzeitig waren die Gehalte an Cr, das im Gegensatz zu Mn in höheren Mengen als krebserzeugend gilt, signifikant erhöht. Die Autoren diskutieren ferner, inwieweit reduzierte Mn-Gehalte im Kopfhair als Indikator für ein erhöhtes Brustkrebsrisiko von Frauen geeignet sein könnten.

Tab. 5.11: Konzentration (mg kg^{-1}) von Mn und Cr im Kopfhair von Brustkrebs-Patientinnen und gesunden Probandinnen (nach Kilic et al. 2004)

		Alter	Chrom-Gehalt	Mangan-Gehalt
Untersuchte Gruppe	n	Mittelwert / Standardabweichung		
Brustkrebs-Patientinnen	26	53 ± 9	$1.7^a \pm 0.7$	$0.7^a \pm 0.5$
Gesunde Probandinnen	27	55 ± 7	$0.7^b \pm 0.3$	$1.7^b \pm 0.4$

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Mittelwerten in den Spalten geben schwach signifikante Unterschiede an; \pm = Standardabweichung.

Verglichen mit dem Tagesbedarf von 2 bis 5 mg Mn (Oberritter 2002, MWW 2004) und der im Vollblut ($6.0 - 11.0 \mu\text{g l}^{-1}$) bzw. Serum ($0.3 - 1.1 \mu\text{g l}^{-1}$) üblichen Mn-Konzentration (Meißner 2002) wird dem Organismus durch Injektion von Eichenmistelpräparaten nur wenig Mn zugeführt. Ampullen-Konzentrationen von 1 bis 10 mg ml^{-1} Frischmasse Eichenmistel

entsprechen einer mittleren Mn-Zufuhr von 0.1 bis 1.0 µg, die in der therapeutischen Praxis in 2- bis 3-tägigen Intervallen erfolgt. Gezielte Injektionen in die Nähe zumal noch kleiner Tumore können jedoch räumlich und zeitlich begrenzt im Gewebe erhöhte Mn-Konzentrationen induzieren, die in betroffenen Zellen eine supprimierte Mn-SOD aktivieren, eine sukzessive Erhöhung des Mn-Niveaus anregen und die immunologische Aktivität stärken könnten. Immunstimulierende Mn-Effekte könnten dabei umso stärker ausfallen, je früher Eichenmistel-Präparate der Tumorgenese entgegengesetzt werden, weshalb Mn-reiche Eichenmistelpräparate insbesondere auch in der Krebsprophylaxe eine nachhaltige Wirkung entfalten könnten.

Die mit der Injektion von Iscador[®] quercus dem menschlichen Körper zugeführte Mn-Menge von 1 µg liegt zwar deutlich unter den 200 µg Selen pro Tag, die in der tumorpräventiven Selen-Supplementierung üblich sind (Letsche und Schweinsberg 2006, Diplock 1990), allerdings ebenso deutlich über der Konzentration potenzierte Metallsalze, die bestimmten wirtsspezifischen Iscador[®]-Sorten zugesetzt werden, um die Mistelwirkung auf die Tumorregion im erkrankten Organismus lenken sollen (Kiene und Kienle 2003).

Mn ist nach Ca das zweihäufigste Metall in pflanzlichen Lektinen und wie dieses essentiell an deren Bindungsaktivität beteiligt (Lönnerdal et al. 1983). Denkbar ist, daß die tumorrelevante Lektin-Aktivität der vergleichsweise lektin-reichen Eichenmistel auch mit deren hohem Mn-Gehalt verknüpft ist.

Rudolf Steiner erwähnte bereits 1920, als er die Mistel als Heilpflanze für die Krebstherapie empfahl, eine generelle Heilwirkung von Mn (Steiner 1999). Die inzwischen gut erforschte, spezifische Bedeutung der Mn-SOD für den Immunstatus im Menschen verleiht dieser frühen Aussage zusätzliches Gewicht. Die vom Wirtsbaum Eiche vermittelte Mn-Anreicherung im Mistelgewebe könnte in diesem Zusammenhang auch nachvollziehbar machen, warum die keltischen Druiden einst speziell die Eichenmistel als "alles Heilende" verehrt haben.

6 Zusammenfassung / Summary

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erforschung der Bedeutung von bodenchemischen Standortfaktoren für das Wachstum und die pharmazeutische Qualität von Eichenmisteln (*Viscum album* auf *Quercus robur* und *petraea*). Hierzu wurden Untersuchungen auf natürlichen und kultivierten Freilandstandorten sowie Gefäßversuche durchgeführt. Dabei wurden etwa 20% der derzeit in Frankreich bekannten natürlichen Eichenmistel-Standorte und 11 kultivierte Standorte mit 350 jungen misteltragenden Eichen erforscht.

Die Untersuchungen erbrachten die folgenden Ergebnisse:

- 1) 80% der natürlichen Eichenmistel-Standorte (n=65) wiesen eine saure Bodenreaktion ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5.0$), niedrige Ca_{extr} -Gehalte (2.73 g kg^{-1}) und mittlere bis hohe Gehalte an Mn_{extr} (91 mg kg^{-1}) und Fe_{extr} (192 mg kg^{-1}) auf.
- 2) Eichenblätter und -misteln von natürlichen Standorten hatten hohe bis sehr hohe Mn-Gehalte von 600 bzw. 900 mg kg^{-1} Mn; akuter Mn-Mangel mit sichtbaren Symptomen trat nur in einer von 44 untersuchten Eichenmisteln auf.
- 3) Die Konzentration der Hauptelemente N, P, K, Ca, Mg, Na und der Spurenelemente B, Zn, Cu und Co war in Eichenmisteln um den Faktor 1.3 bis 3.0 höher als in Eichenblättern, ohne daß sich deren Gehalt und Anreicherung mit Bodenparametern korrelieren ließen.
- 4) Gehalt und Anreicherung von Mn in Eichenmisteln waren negativ mit dem pH-Wert, Humus-Gehalt und Ca_{extr} -Gehalt im Boden korreliert. Die Mn-Anreicherung in Eichenmisteln war umso stärker, je höher der Mn_{extr} -Gehalt im Boden war.
- 5) Der Fe-Gehalt in Eichenmisteln war signifikant negativ mit dem pH-Wert und dem Ca_{extr} -Gehalt sowie der Fe-Konzentration in den Eichenblättern korreliert, erreichte mit 99 mg kg^{-1} aber nur etwa 80 % des Fe-Gehaltes in Eichenblättern (143 mg kg^{-1}).
- 6) Sechs von 11 kultivierten Eichenmistel-Standorten hatten saure Böden mit niedrigen Ca_{extr} - und mittleren Mn_{extr} -Gehalten; auf diesen Standorten lagen die Mn-Gehalte in Eichenblättern bei 674 mg kg^{-1} und in Eichenmisteln bei 620 mg kg^{-1} . Fünf kultivierte Standorte am Nordfuß des Schweizer Jura wiesen basische Böden mit hohen Ca_{extr} - und niedrigen Mn_{extr} -Gehalten sowie auffallend niedrige Mn-Gehalte in Eichenblättern (104 mg kg^{-1}) und Eichenmisteln (64 mg kg^{-1}) auf.
- 7) Kultivierte Eichenmistel-Standorte mit sauren Böden hatten höhere Fe_{extr} -Gehalte als Standorte mit basischen Böden, auf denen teilweise extrem niedrige Fe_{extr} -Gehalte im Boden zu niedrigen Fe-Gehalten in Eichenblättern führten; vermutlich lag auch latenter Mangel an physiologisch aktivem Fe in Eichenblättern und -misteln vor.

- 8) Eichenblätter von einem kultivierten Standort mit einem schwach basischen Boden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7.7$) unterschieden sich von Eichenblättern auf einem kultivierten Standort mit einem schwach sauren Boden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.7$) durch geringere Mn-Gehalte, kleinere Blattflächen sowie geringere Wasser- und Chlorophyll-Gehalte.
- 9) In Gefäßversuchen enthielten Eichensämlinge auf einem schwach basischen Boden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7.7$) weniger Mn im Sproß und hatten deutlich weniger Biomasse als auf einem schwach sauren Boden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.7$).
- 10) Nach 7-jährigem Wachstum wuchs die Mistel auf 42% der jungen Eichen auf einem schwach sauren Boden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.7$), auf 25% der Eichen auf einem stark sauren Boden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 5.8$) und auf 8% der Eichen auf einem schwach basischen Boden ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7.7$). Nach Umpflanzung der Eichen in ein Kompostsubstrat stieg die Mistelempfänglichkeit auf dem schwach basischen und dem stark sauren Boden auf 33% und auf dem leicht sauren Boden auf 50 %.
- 11) Veredelte Eichen entwickelten auf kultivierten Standorten mit sauren Böden zu 80% eine Disposition für die Mistel, auf basischen Standorten dagegen nur zu etwa 50%; verschulte Eichen erreichten auf sauren Böden etwa 20%, auf basischen Böden dagegen nur 8% Mistelempfänglichkeit.
- 12) Auf dem mäßig sauren, Ca_{extr} -armen, aber gut mit Mn_{extr} - und Fe_{extr} versorgten Boden eines kultivierten Standortes wurden aus direkt am Endstandort gesäten Eichen innerhalb von 12 Jahren 38% misteilempfängliche Bäume selektiert.
- 13) Die potentiell toxischen Elemente Al, Cr und Cd traten in Eichenmisteln auf natürlichen und kultivierten Standorten in der für Pflanzen üblichen Spannweite auf. Pb und Ni zeigten auf Standorten mit sauren Böden leicht erhöhte Gehalte in Eichenblättern und eine Tendenz zur Anreicherung in Eichenmisteln.
- 14) Misteln von Apfel und Ulme hatten auf sauren Standorten niedrigere Mn-Gehalte als Eichenmisteln, Misteln von Tanne und Kiefer dagegen ähnlich hohe Mn-Gehalte wie Eichenmisteln.
- 15) Pharmazeutische Extrakte aus Eichenmisteln wiesen signifikant höhere Mn-, Fe- und Na-Gehalte auf als Extrakte aus Apfel-, Ulmen- und Kiefernmisteln. Tannenmistelextrakte hatten relativ hohe Mn-Gehalte, unterschieden sich von Eichenmistelextrakten jedoch durch höhere Ca- und niedrigere Fe-Gehalte.
- 16) Hohe Mn-Gehalte und Mn-/Ca-Quotienten über 1 wurden als charakteristisch für pharmazeutische Extrakte aus Eichenmisteln eingestuft und sind durch Kultivierung und Ernte von Eichenmisteln auf Standorten mit sauren Böden nachhaltig zu sichern.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß misteltragende Eichen auf natürlichen Standorten saure Böden mit einer guten Mn-Verfügbarkeit bevorzugen, was zu hohen Mn-Gehalten in der Eichenmistel und den daraus hergestellten pharmazeutischen Extrakten führt. Standortgerecht ist demzufolge die Eichenmistel-Kultivierung auf sauren Böden. Die Melioration basischer Standortböden mit dem Ziel, die Mn-Verfügbarkeit zu steigern, ist dagegen aufwendig, wenig erfolgversprechend und angesichts wachsender Misteleichen-Bestände auf sauren Böden auch nicht erforderlich. Die Eichenmistel-Ernte auf Standorten mit sauren Böden hilft hohe Mn-Gehalte als pharmazeutische Qualität von Eichenmistel-Extrakten nachhaltig sicherzustellen.

Summary: *Influence of site-specific soil chemical factors on growth and pharmaceutical quality of oak mistletoe (Viscum album on Quercus robur and petraea)*

It was the aim of this study to examine the significance of chemical soil characteristics for growth and quality of oak mistletoe (*Viscum album* on *Quercus robur* and *petraea*). The research activities were performed on natural and cultivated sites, and in pot trials. About 20% of the actually known natural sites with oak mistletoes in France and about 350 mistletoe bearing oaks on 11 cultivated sites were analysed.

The results can be summarised as follows:

- 1) Natural sites with oak mistletoe showed an acidic soil reaction ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5.0$), a low content of extractable Ca_{extr} (2.73 g kg^{-1}) and a medium to high content of Mn_{extr} (91 mg kg^{-1}) and Fe_{extr} (192 mg kg^{-1}).
- 2) Oak leaves and oak mistletoes from natural sites showed a high mean Mn content of 600 and 900 mg kg^{-1} dry matter Mn, respectively. Only one out of 44 sampled oak mistletoes showed visible symptoms of severe Mn deficiency.
- 3) The major elements N, P, K, Ca and Mg and the trace elements Zn, Cu, B, Na and Co were concentrated by a factor of 1.3 to 3.0 in oak mistletoes compared to oak leaves, but neither content, nor enrichment were correlated with soil parameters.
- 4) Content and enrichment of Mn in oak mistletoes were negatively correlated with pH, organic matter and Ca_{extr} -content of soils. The Mn enrichment in oak mistletoes increased with higher contents of extractable Mn_{extr} in the soil.
- 5) The Fe content of oak mistletoes (99 mg kg^{-1} dry matter) was significantly and negatively correlated with pH and Ca_{extr} content of soils, but accounted only for 80 %

of the Fe content of oak leaves ($143 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Fe}$); the Fe content of mistletoe was regulated independently of the Fe content of oak leaves.

- 6) Six out of 11 cultivated oak mistletoe sites had acidic soils with a low content of Ca_{extr} and a medium content of Mn_{extr} ; on these sites the mean Mn content of cultivated oak leaves and oak mistletoes had values of 674 mg kg^{-1} and 620 mg kg^{-1} , respectively. Five cultivated sites north of the Swiss Jura mountains had alkaline soils with a high content of Ca_{extr} and a low content of extractable Mn_{extr} which corresponded with a low Mn content in cultivated oak leaves ($104 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}$) and cultivated oak mistletoes ($64 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Mn}$).
- 7) Compared to a high Fe_{extr} content on cultivated oak mistletoe sites with acidic soils some sites with alkaline soils showed an extremely low Fe_{extr} content; this led to significantly lower Fe contents in cultivated oak leaves and mistletoes and possibly moderate deficiency of physiologically active Fe.
- 8) Oak leaves from cultivated sites with a slightly alkaline "lime"-soil ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7.7$) differed from oak leaves with a slightly acidic "clay"-soil ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.7$) in such way that they had a low Mn content, small specific leaf areas, and a low water and chlorophyll content.
- 9) In a pot experiment oak seedlings growing on a slightly alkaline soil ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7.7$) had a lower Mn content and less biomass than those from a slightly acidic soil ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.7$).
- 10) After a growth period of 7 years mistletoes were growing on 42% of young oaks on a slightly acidic soil ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.7$), compared to a value of 25% on a strongly acidic soil ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 5.8$) and 8% on a slightly alkaline soil ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7.7$). After oaks with cut roots were planted into a compost substrate the receptivity for mistletoe increased up to 33% on the slightly alkaline and the strongly acidic soil. The corresponding value for the slightly acidic soil was 50%.
- 11) More than 80% of the grafted oaks on cultivated sites were receptive for mistletoe if the soils were acidic compared to 50% on alkaline soils. For oaks grown in a nursery the receptivity for mistletoe was 20% on acidic soils, but only 8% on alkaline soils.
- 12) If acorns were sown directly on final growing sites 38% of the growing oaks proved to be receptive for mistletoe within 12 years on a cultivated site with an acidic soil, which had a low content of Ca_{extr} , but a high content of Mn_{extr} and Fe_{extr} .
- 13) The concentration of potentially toxic elements such as Al, Cr and Cd in oak mistletoes on natural and cultivated sites was in the normal range for higher plant

leaves. Pb and Ni had slightly higher concentrations in oak leaves, and were tendentially enriched in oak mistletoes on acidic soils.

- 14) Mistletoes of apple (*Malus*) and elm (*Ulmus*) grown on acidic soils had a lower Mn content than oak mistletoes while the Mn content in fir (*Abies*) and pine (*Pinus*) mistletoes was similar to that in oak mistletoes.
- 15) Pharmaceutical extracts of oak mistletoe had a significantly higher Mn, Fe and Na content than extracts from mistletoe of apple, elm and pine. The Mn content of extracts from fir mistletoe was also relatively high, but showed a significantly higher Ca and lower Fe content than oak mistletoe extracts.
- 16) A high Mn content and a Mn:Ca-ratio of > 1 were evaluated as being characteristic for pharmaceutical extracts from oak mistletoe and should be sustainably warranted by cultivating and harvesting oak mistletoe on sites with acidic soils.

Mistletoe bearing oaks from natural sites preferred acidic soils with a sufficient availability of Mn which resulted in a high Mn content in oak mistletoe and the corresponding pharmaceutical extracts. Oak mistletoe cultivation on acidic soils is therefore regarded as a necessary prerequisite with view to site characteristics. In comparison, enhancing the availability of Mn by melioration of alkaline soils consumes too much efforts, promises little success and is not necessary when facing the growing numbers of cultivated mistletoe bearing oaks on acidic soils. Harvesting oak mistletoe on sites with acidic soils will sustainably contribute to a high Mn content and thus the pharmaceutical quality of oak mistletoe extracts.

7 Literatur

- **Abbot A J** (1967) Physiological effects of micronutrient deficiencies in isolated roots of *Lycopersicon esculentum*. New Phytol. 66: 419-437
- **Ahrens E** (1964) Untersuchungen über den Gehalt von Blättern und Nadeln verschiedener Baumarten an Kupfer, Zink, Bor, Molybdän und Mangan. Allg. Forst- und Jagdzeitung 135: 8-16
- **Alloway B J (Hg.)** (1999) Schwermetalle in Böden. Analytik, Konzentration, Wechselwirkung. Berlin Heidelberg, Springer
- **Amberger A** (1973) The role of manganese in the metabolism of plants. Agrochimica 12: 69-83
- **Amberger A** (1983) Pflanzenernährung. Stuttgart: Ulmer Taschenbuch Verlag
- **Anderson J E, Kriedemann P E, Webb M J** (1988) A contrast between wheat (*Triticum aestivum*) and barley grass (*Hordeum glaucum* and *Hordeum leporinum*) in response to manganese deficiency. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) International Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide: 105-107
- **Anonymus** (1963) Aus der Arbeit des Institutes Hiscia - Mistel-Züchtung. Arlesheim (Schweiz): Jahresbericht Verein für Krebsforschung: 13
- **Anonymus** (1967) Die Erdgeschichte in der Umgebung von Basel. Veröffentlichungen aus dem Naturhist. Museum Basel, Nr.6
- **Ash D E, Cox J D, Christianson D W** (2000) Arginase: a binuclear manganese metalloenzyme. In: Sigel A, Sigel H (eds.) Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes. New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 407-428
- **Balzer F** (2003) Ganzheitliche standortgemäße dynamische Bodenbeurteilung. 3. Aufl., Verlag Ehrenfried-Pfeiffer- Ausbildungs- und Forschungsstätte, Amönau
- **Bannister P, Strong G L, Andrew I** (2002) Differential accumulation of nutrient elements in some New Zealand mistletoes and their hosts. Funct. Plant Biol. 29 (11): 1309-1318
- **Barberaki M, Kintzios S** (2002) Accumulation of selected macronutrients in mistletoe tissue cultures: effect of medium composition and explant source. Scientia Horticulturae 95 (1-2): 133-150
- **Barney C W, Haksworth F G, Geils B W** (1998) Hosts of *Viscum album*. Eur. J. For. Path. 28, 187-208
- **Bartels H** (1993) Gehölzkunde. Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer Verlag.
- **Bayer G, Brodersen K, Hopp J, König R, Winkler G (Hg.)** (1994) Plinius C. Secundus d. Ä., Naturkunde. Buch 16: Botanik: Waldbäume. München, Zürich: Artemis und Winkler
- **Becker H** (1986) Botany of European mistletoe (*Viscum album* L.). Oncology 43 (suppl.) 1: 2-7
- **Becker H, Jurzitza G** (1972) Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen über den Anschluß der Mistel (*Viscum album*) an die Leitbahnen des Wirtes. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 79 (1): 27-33
- **Becker H, Schmoll H** (1986) Mistel – Arzneipflanze, Brauchtum, Kunstmotiv im Jugendstil. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH
- **Bellmann P G, Daems W** (1965) Ist die Mistel ein altes Krebsheilmittel? Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften. 49 (4): 355-363

- **Beniamino F, Ponge J F, Arpin P** (1991) Soil acidification under the crown of oak trees: I. Spatial distribution. *Forest Ecology and Management* 4 (3-4): 221-232
- **Bergmann W** (1993) Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. (3., erw. Aufl.) Stuttgart New York: Gustav Fischer Verlag
- **Bernhofer C, Gay L W** (1989) Evapotranspiration from an oak forest infested by mistletoe. *Agricultural and Forest Meteorology* 48 (3-4): 205-223
- **Beyer L, Blume H P, Irmeler U** (1991) The humus of a "parabraunerde" (Orthic Luvisol) under *Fagus sylvatica* L. and *Q. robur* L. and its modification in 25 years. *Annales des Sciences Forestieres* 48 (3): 267-278
- **Bhandari N N, Mukerji K G** (1993) The haustorium. Chichester/England: John Wiley & Sons Inc.
- **Bitterli-Brunner P, Fischer H, Herzog P** (1984) Geologische Karte der Schweiz. Blatt Arlesheim
- **BMVEL** (2005) Handbuch "Forstliche Analytik – Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Herausgegeben vom Gutachterausschuss Forstliche Analytik (Grundwerk 2005)
- **Bopp A** (2002) Die Mistel – Heilpflanze in der Krebstherapie. (3. Aufl.) Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuchverlag
- **Bowie M, Ward D** (2004) Water and nutrient status of the mistletoe *Plicosepalus acacia* parasitic on isolated Negev Desert populations of *Acacia raddiana* differing in level of mortality. *Journal of Arid Environments* 56 (3): 487-508
- **Box J O** (2000) Mistletoe *Viscum album* (Loranthaceae) on oaks in Britain. *Watsonia* 23: 237-256
- **Briggs J** (2003) Christmas curiosity or medical marvel? *Biologist* 50 (6): 249-254
- **Buchleitner E, Krapfenbauer A** (1986) Untersuchungen zur Keimung der Eichenmistel (*Loranthus europaeus*) und zur Anatomie des Haustoriums. *Die Bodenkultur* 37 (3): 195-216
- **Burg, J van den** (1990) Foliar analysis for determination of tree nutrient status - a compilation of literature data. 2. Literature 1985-1989. Rapport Nr. 591, 'De Dorschkamp', Institute for Forestry and Urban Ecology, Wageningen
- **Burger H** (1930) Holzarten auf verschiedenen Bodenarten. *Mitteilungen d. Schweiz. Centralanstalt f. d. forstl. Versuchswesen*, XVI (1): 50-128
- **Burger H** (1944) Über die künstliche Begründung von Eichenbeständen. *Mitteilungen d. Schweizerischen Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen*, XXIII (2): 283-373
- **Burnell J N** (1988) The biochemistry of manganese in plants. In: *Manganese in Soils and Plants*; Graham R D, Hanman R J, Uren N C, Eds. Kluwer Academic, Dordrecht: 125 - 137
- **Büssing A** (2000a) Biological and pharmacological properties of *Viscum album* L. – From tissue flask to man. In: Büssing A (ed.) *Mistletoe - The Genus Viscum*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers: 123-182
- **Büssing A** (2000b) *Viscum album* products. In: Büssing A (ed.) *Mistletoe - The Genus Viscum*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers: 209 -
- **Büssing A, Schietzel M** (1999) Apoptosis-inducing properties of *Viscum album* L. extracts from different host trees correlate with their content of toxic mistletoe lectins. *Anticancer Research* 19: 23-28
- **Calvin C L, Wilson C A** (1995) Relationship of the mistletoe *Phoradendron macrophyllum* to the wood of its host. *IAWA J.* 16: 33-45

- **Camargo C E O** (1988) Tolerance of wheat cultivars to different levels of manganese in nutrient solution: evidence of genetic control. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) International Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide: 109-112
- **Cheng B T, Ouelette G J** (1971) Manganese availability in soil. *Soils and Fert.* 34: 589-595
- **Clarkson D.T., Hanson J. B.** (1980) The mineral nutrition of higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31, 239-298
- **Cooper K V, Graham R D, Longnecker N E** (1988) Triticale: a cereal for manganese-deficient Soils. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) International Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide: 113-115
- **Crowley J D, Traynour D A, Weatherburn D C** (2000) Enzymes and Proteins Containing Manganese: An Overview. In: Sigel A, Sigel H (eds.) *Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes*. New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 209-278
- **Cullen JJ, Weydert C, Hinkhouse M M, Ritchie J, Domann F E, Spitz D, Oberley L W** (2003) The role of manganese superoxide dismutase in the growth of pancreatic adenocarcinoma. *Cancer Research* 63: 1297-1303
- **Daems F W** (1987) Ita Wegman und das erste Mistelpräparat Iscar zur Krebsbehandlung. In: Leroi R (Hg.) *Misteltherapie. Eine Antwort auf die Herausforderung Krebs. Die Pioniertat Rudolf Steiners und Ita Wegmans*. Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben: 35-44
- **Debus R J** (2000) The polypeptides of photosystem II and their influence on manganotyrosyl-based oxygen-evolution. In: Sigel A, Sigel H (eds.) *Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes*. New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 657-711
- **De Mol M., Heller A** (2004) Water relations and development of the European mistletoe *Viscum album* L. Proc. 8th International Parasitic Weeds Symposium. Johannesburg, 2004, June 24-25; S. 23.
- **Dengler A** (1980) *Waldbau*. Hamburg: Paul Parey Verlag
- **Diplock A T** (1990) Mineral insufficiency and cancer. *Med. Oncol. Tumor Pharmacother.* 7 (2-3): 193-198
- **DKFZ** (2006) Krebsatlas. [Online, 24. Mai 2006]
http://www.dkfz.de/epi/Home_d/Programm/AG/Praevent/Krebshom/main/deutsch/frame4.htm
- **Dorka R** (1996) Synchronous differentiation of the meristem into vegetative and generative primordia and nutation movements in *Viscum album*. In: Moreno M T, Cubero J I, Berner D, Joel D, Musselmann L J, Parker C (eds.): *Advances in parasitic plant research*. Junat de Andalucia: 226-231
- **Dorka R, Engelmann W, Hellrung W, Mack P, Miersch O, Wasternack C** (2004) Endogenous rhythms of nutational movement in *Viscum album* L. correlates with high level of jasmonic acid. Proc. 8th International Parasitic Weeds Symposium. Johannesburg, 2004, June 24-25; 20
- **Duan H, Zhang H J, Yang J Q, Oberley L W, Futscher B W, Domann F E** (2003) MnSOD up-regulates maspin tumor suppressor gene expression in human breast and prostate cancer cells. *Antioxid Redox Signal* 5 (5): 677-688
- **Ebermann R, Lickl E** (1985) The possible role of peroxidase isoenzymes in the infection of English oak by *Loranthus europaeus*. *Phytopathology* 75 (10): 1102-1104
- **EC-UN/ECE** (1995) Foliar expert panel. Symposium Paper ICP-Forest, Wien, 6-8 Nov. 1995

- **EDI** (1983) Richtlinien für die Untersuchung von Abwasser- und Oberflächenwasser. 2. Teil: Oberflächenwasser. Herausgegeben vom Eidgen. Department des Innern, Bern: S. 37/1-37/14
- **Egli S** (1981) Die Mykorrhiza und ihre vertikale Verteilung in Eichenbeständen. Schweiz. Zeitschrift Forstwesen 132 (5): 345-353
- **Egli S** (1983) Ektomykorrhiza bei Eiche und Fichte. AFZ 9/10: 234-236
- **Ehleringer J R, Schulze E-D** (1985) Mineral concentrations in an autoparasitic *Phoradendron californicum* growing on a parasitic *P. californicum* and its host, *Cercidium floridum*. American Journal of Botany 72: 568-571
- **Elias P** (1987) Quantitative ecological analysis of a mistletoe (*Loranthus europaeus* Jaqu.) population in an oak-hornbeam forest – space continuum approach. Ekologia CSFR 6 (4): 359-372
- **Elias P** (1987) Quantitative ecological analysis of a mistletoe (*Loranthus europaeus* Jaqu.) population in an oak-hornbeam forest – discrete unit approach. Ekologia CSFR 7 (1): 3-17
- **Escher P, Eiblmeier M, Hetzger I, Rennenberg H** (2004) Spatial and seasonal variation in amino compounds in the xylem sap of a mistletoe (*Viscum album*) and its hosts (*Populus* spp. and *Abies alba*). Tree Physiology 24: 639-650
- **Farley R F, Draycott A P** (1973) Manganese deficiency of sugar beet in organic soils. Plant and Soil 38: 235-244
- **Fineran B A** (1995) Green tissue within the haustorium of the dwarf mistletoe *Korthalsella* (Viscaceae). An ultrastructural comparison between chloroplasts of sucker and aerial stem tissues. Protoplasma 189: 216-228
- **Fineran B A** (1996) Flange-type parenchyma cells: occurrence and structure in the haustorium of the dwarf mistletoe *Korthalsella* (Viscaceae). Protoplasma 194: 40-53
- **Fineran B A, Calvin C L** (2000) Transfer cells and flange cells in sinkers of the mistletoe *Phoradendron macrophyllum* (Viscaceae), and their novel combination. Protoplasma 211: 76-93
- **Fisher J T** (1983) Water relations of mistletoes and their hosts. In: Calder M, Bernhardt P (eds.) The Biology of Mistletoes. London, Academic Press: 161-184
- **Fox T M, Guerinot M L** (1998) Molecular biology of cation transport in Plants. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49: 669-696
- **Franz H** (1985) Inhaltsstoffe der Mistel (*Viscum album* L.) als potentielle Arzneimittel. Pharmazie 40: 97-104
- **Frochot H, Pitch M, Wehrle L** (1978) Différences de sensibilité au gui (*Viscum album* L.) de quelques clones de peuplier (*Populus* sp.) Proc. 103e Congr. Int. des Soc. savantes, Nancy-Metz, Vol. 1, Paris: Bibliothèque nationale: 157-165
- **Genaust H** (1996) Etymologisches Wörterbuch der botanischen Pflanzennamen. 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl.; Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag
- **Gill L S, Hawksworth F G** (1961) The mistletoes – a literature review. Technical Bulletin No. 1242: Washington DC: United States Dep. Of Agriculture
- **Gilmore A M, Matsubara S, Ball M C, Barker D H, Itoh S** (2003) Excitation energy flow at 77 K in the photosynthetic apparatus of overwintering evergreens. Plant Cell and Environment 26 (7): 1021-1034

- **Glatzel G** (1983) Mineral nutrition and water relations of hemiparasitic mistletoes; a question of partitioning. Experiments with *Loranthus europaeus* on *Q. petraea* and *Q. robur*. *Oecologia* 56: 193-201
- **Glatzel G, Balasubramaniam S** (1987) Mineral nutrition of mistletoes: general concepts. In: Weber H C, Forstreuter W, Parasitic Flowering Plants (Proceedings of the 4th ISFPF, Marburg 1987: 263-276
- **Glatzel G, Devkota M** (2004) Active vs passive mineral nutrient uptake in mistletoes – a still unresolved question? Proc. 8th International Parasitic Weeds Symposium. Johannesburg, 2004, June 24-25: 19
- **Goedings P** (1995) Der Mineralstoffhaushalt in *Viscum album* L. (Weißbeerige Mistel). Universität Witten-Herdecke: Dissertation
- **Göransson A** (1994) Growth and nutrition of small *Betula pendula* plants at different relative addition rates of manganese. *Tree Physiology* 14: 375-388.
- **Gold M H, Youngs H Y, Sollewijn Gelpke M D** (2000) Manganese peroxidases. In: Sigel A, Sigel H (eds.) Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes. New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 559-586
- **González Soto E, Alonso Rodríguez E, Lopez Mahía P, Muniategui Lorenzo S, Prada Rodríguez D** (1996) Determination of trace elements in tree leaves. *Annali di Chimica* 86 (3-4): 181-191
- **González A, Steffen K L, Lynch J P** (1998) Light and excess manganese. Implications for oxidative stress in common bean. *Plant Physiol.* 118: 493 –504.
- **Grazi G** (1986) The role of birds in the dispersion and control of mistletoe in Arlesheim (Switzerland). Abstracts of the Int. Meeting on *Viscum album*, Heidelberg
- **Grazi G** (1987) Mistelkultivierung im Laboratorium Hiscia. In: Leroi R (Hg.) Misteltherapie. Eine Antwort auf die Herausforderung Krebs. Die Pioniertat Rudolf Steiners und Ita Wegmans. Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben: 148-159
- **Grazi G, Urech K** (1981) Einige morphologische Merkmale der Mistelbeere (*Viscum album* L.) und deren taxonomische Bedeutung. *Beitr. Biol. Pflanzen* 56: 293-306
- **Grazi G, Urech K** (1983) La susceptibilité des chênes, des ormes et des mélèzes au gui (*Viscum album* L.). *Revue Scientifique du Bourbonnais*: 6-12
- **Grazi G, Urech K** (1985) Hyperparasitismus von *Viscum album* auf *Loranthus europaeus* als mögliches Bekämpfungsmittel gegen die Eichenmistelplage. *Beitr. Biol. Pflanzen* 60: 467-474
- **Grazi G, Urech K** (1996) Meisen und Misteln. *Gefiederte Welt* 21 (6): 206-207
- **Haneklaus S, Bloem E, Hayfa S, Fleckenstein J** (2005) Influence of elemental sulphur fertilization on micronutrient concentrations in nasturtium (*Tropaeolum majus* L.). *FAL – Agricultural Research special issue* No 286, 25-35
- **Hariri E B, Sallé G, Andary C** (1991) Involvement of flavonoids in the resistance of two poplar cultivars to mistletoe (*Viscum album* L.). *Protoplasma* 162: 20-26
- **Hariri E B, Jeune B, Baudino S, Urech K, Sallé G** (1992) Elaboration d'un coefficient de résistance au gui chez le chêne. *Can. J. Bot.* 70: 1239-1246
- **Hartmann F** (1951) Der Waldboden. Humus-, Boden- und Wurzeltypen als Standortanzeiger. Wien: Verlag der Carl Überreuterschen Buchdruckerei

- **Hatton R H S** (1963-64) Pollination of mistletoe (*Viscum album* L.). Proc. Linn. Soc. London 176: 67-76
- **Hecht-Buchholz C, Wiehe W** (1988) Response of norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) to manganese excess: symptoms and mineral nutrient content in needles and roots. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) International Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide: 41-42
- **Heinricher E** (1920) Wie erfolgt die Bestäubung der Mistel: scheiden ihre Blüten wirklich Nektar ab? Biol. Zbl. 40: 514-527
- **Heinricher E** (1925) Zur Frage über die Bestäubung bei den Mistel-Arten *Viscum album* L. und *cruciatum* Sieb. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 43: 270-278
- **Heinze M, Fiedler H-J** (1992) Ernährung der Gehölze. In: Lyr H, Fiedler H-J, Tranquilli W, Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag: Jena Stuttgart: 43-115
- **Hess D** (1981) Pflanzenphysiologie. 7. Aufl. Ulmer Taschenbuch Verlag Stuttgart.
- **Hiltbrunner E, Flückiger W** (1996) Manganese deficiency of silver fir trees (*Abies alba*) at a reforested site in the Jura mountains, Switzerland: aspects of cause and effect. Tree Physiology 16: 963-975
- **Hodgson J F** (1963) Chemistry of the micronutrient elements in soils. Advances in Agronomy 15: 119-159
- **Hoffmann E, Lüdke C, Skole J, Stephanowitz H, Ullrich E, Colditz D** (2000) Spatial determination of elements in green leaves of oak trees (*Q. robur*) by laser ablation-ICP-MS. Fresenius J Anal Chem 367: 579-585.
- **Högemann A, Keil G** (1982) Der "Straßburger Eichentraktat" – ein zum Wunderdrogen-Text gewordenes Albertus-Magnus-Kapitel. In: Engelhardt H, Kempter G (Hg.): Diversarium artium studia: Beitr. zu Kunstwiss., Kunsttechnologie u. ihren Randgebieten. Wiesbaden: Reichert: 267-276
- **Hoganson C W, Babcock G T** (2000) Mechanistic aspects of the tyrosyl radical-manganese complex in photosynthetic water oxidation. In: Sigel A, Sigel H (eds.) Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes. New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 613-656
- **Hollinger D Y** (1983) Photosynthesis and water relations of the mistletoe, *Phoradendron villosum*, and its host, the California valley oak, *Q. lobata*. Oecologia 60 (3): 396-400
- **Horak O** (1974) Vergleichende Mineralstoffanalysen an einigen *Loranthaceen* und deren Wirtspflanzen. Z. Pflanzenphysiologie 73: 461-466
- **Horak O, Kinzel H** (1971) Typen des Mineralstoffwechsels bei den höheren Pflanzen. Österr. Bot. Z. 119: 475-495
- **Hunter L R, Nicholson G** (1988) Manganese in radiata pine in New Zealand. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) International Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide: 71-73
- **Iljin W S** (1952) Metabolism of plants affected with lime-induced chlorosis. III. Mineral elements. Plant und Soil 3: 339-351

- **Isaac R A, Kerber J D** (1971) Atomic absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In Walsh L M (ed.) Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, 1st edition: 17-38
- **Jadin M F, Astruc A** (1913) La répartition du manganèse dans le règne végétal. J Pharm Chim 7: 155-161
- **Janssen T, Wulf A** (1999) Zur Bedeutung von Misteln im Fortschutz. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Fortwirtschaft Berlin-Dahlem. Berlin, Verlag Paul Parey
- **Jung M-L, Baudino S, Ribéreau-Gayon, Beck J-P** (1990) Characterization of cytotoxic proteins from mistletoe (*Viscum album* L.). Cancer Letters 51: 103-108
- **Karunaichamy K S T K, Paliwal K, Arp P A** (1999) Biomass and nutrient dynamics of mistletoe (*Dendrophthoe falcata*) and neem (*Azadirachta indica*) seedlings. Current Science 76 (6): 840-842
- **Kay Q O N** (1986) Dioecy and pollination in *Viscum album*. Watsonia 16: 232
- **Kilic E, Saraymen R, Demiroglu A, Ok E** (2004) Chromium and manganese levels in the scalp hair of normals and patients with breast cancer. Biological Trace Element Research 102: 19 – 25
- **Kim K H, Rodriguez A M, Carrico P M, Melendez J A** (2001) Potential mechanisms for the inhibition of tumor cell growth by manganese superoxid dismutase. Antioxid Redox Signal. 3(3): 361-373
- **Kim J J, Chae S W, Hur G C, Cho S J, Kim M k, Choi J, Nam S Y, Yang H K, Lee B L** (2003) Manganese superoxide dismutase expression correlates with a poor prognosis in gastric cancer. Pathobiology 70 (6): 353-360
- **Kienle G, Kiene H** (2003) Die Mistel in der Onkologie – Fakten und konzeptionelle Grundlagen. Stuttgart: Schattauer Verlag
- **Kinnula V L, Crapo J D** (2003) Superoxid dismutase in the lung and human lung diseases. Am J Respir Crit Care Med 167 (12): 1600-1619
- **Kintzios S, Barberaki M** (2000) The biotechnology of *Viscum album*: tissue culture, somatic embryogenesis and protoplast isolation. In: Büssing A. (ed.) (2000) Mistletoe - The Genus *Viscum*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers: 95-100
- **Kintzios S, Barberaki M, Drossopoulus J, Turgelis P, Konstas J** (2003) Effect of medium composition and explant source on the distribution profiles selected micronutrients in mistletoe tissue cultures. Journal of Plant Nutrition 26 (2): 369-397
- **Koestner J N, Brueckner E, Bibelriether H** (1968) Die Wurzeln der Waldbäume. Hamburg Berlin: Verlag Paul Parey
- **Krahl-Urban J** (1959) Die Eichen - Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche. Hamburg Berlin: Verlag Paul Parey
- **Kuijt J** (1969) The biology of parasitic flowering plants. Los Angeles: University of California Press
- **Kutyna I, Wlodarczyk E** (2004) The heavy metals, sulphur and fluorine content in mistletoe (*Viscum album* L.) within the area of Szechin Region. (Zawatosc metali ciezkich, siarki i fluori w jemiole pospolitej (*Viscum album* L.) w regionie Szczecinskim) Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura 93: 207-217
- **Lamont B** (1983) Mineral nutrition of mistletoes. In: Calder M, Bernhardt P (eds.) The Biology of Mistletoes. London: Academic Press: 185-204

- **Lamont B B, Southall K J** (1982) Distribution of mineral nutrients between the mistletoe, *Amyema preissii*, and its host, *Acacia acuminata*. *Annals of Botany* 49: 721-725
- **Langheinrich U, Tischner R, Godbold D L** (1992) Influence of a high Mn supply on Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings in relation to the nitrogen source. *Tree Physiology* 10: 259-271
- **Lawson J L** (1967) Goethe and Linnæus. *Journal of the History of Ideas* 28 (4): 590-596
- **Leonard T K, Mohs M E, Watson R R** (1986) Nutrient intakes: cancer causation and prevention. *Prog Food Nutr Sci.* 10 (3-4): 237-277
- **Leroi R (Hg.)** (1987) Misteltherapie. Eine Antwort auf die Herausforderung Krebs. Die Pioniertat Rudolf Steiners und Ita Wegmans. Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben
- **Letsche M, Schweinsberg F** (2006) Selen in der Nahrung - Krank durch zu viel, krank durch zu wenig? [Online: 20. 6. 2006] <http://scientificjournals.com/sj/erno/Abstract/ArtikelId/599>
- **Li J J, Oberley L W** (1997) Overexpression of manganese-containing superoxid dismutase confers resistance to the cytotoxicity of tumor necrosis factor alpha and/or hyperthermia. *Cancer Res.* 57 (10): 1991-1998
- **Li X, Pfiz M, Küppers M, Einig W, Rennenberg H, Hampp R** (2003) Sucrose phosphate synthase in leaves of mistletoe: its regulation in relation to host (*Abies alba*) and season. *Trees* 17: 221-227
- **Little C H A, Savidge R A** (1987) The role of plant growth regulators in forest tree cambial growth. *Plant Growth Regulation (Historical Archive)* 6 (1-2): 137-169
- **Löffler B** (1923) Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der weiblichen Blüte, der Beere und des ersten Saugorgans der Mistel (*Viscum album* L.). *Tharandter Forstliches Jahrbuch* 74: 49-62
- **Lönnerdal B, Borrebaeck C A K, Etzler M E, Ersson B** (1983) Dependence on cations for the binding activity of lectins as determined by affinity electrophoresis. *Bioch. and Biophys. Res. Comm.* 115 (3): 1069-1074
- **Longnecker N E, Graham R D, Marcar N E** (1988) The effect of seed manganese on barley (*Hordeum vulgare* L.) growth and yield. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) *International Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide*: 47-49
- **Lonza** (1994) Analysen von pflanzlichem Material und Säften - Verein für Krebsforschung Arlesheim. Begleitpapier zu Analysenberichten.
- **Luther P, Becker H** (1987) Die Mistel. Botanik, Lektine, medizinische Anwendung. Stuttgart Berlin: Springer Verlag
- **Marcar N E, Khanna P K, Snowdon P** (1988) Manganese nutrition and cycling in forest ecosystems. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) *International Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide*: 85-89
- **Marschner H** (1986) Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press
- **Marschner H, Treeby M, Römheld V** (1989) Role of root-induced changes in the rhizosphere for iron aquisition in higher plants. *Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde* 152: 197-204
- **Marsh K B, McCain D C, Peterson L A** (1988) ¹H-NMR measurements of manganese accumulation in potatoe leaves. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) *International*

Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide: 51-53

- **Marshall J D, Ehleringer J R** (1990) Are xylem-tapping mistletoes partially heterotrophic? *Oecologia* 84: 244-248
- **Marshall J D, Dawson T E, Ehleringer J R** (1994) Integrated nitrogen, carbon, and water relations of a xylem-tapping mistletoe following nitrogen fertilization of the host. *Oecologia* 100: 430-438
- **Matsubara S, Gilmore A M, Ball M C, Anderson J M, Osmond C B** (2002) Sustained downregulation of photosystem II in mistletoes during winter depression of photosynthesis. *Functional Plant Biology* 29 (10): 1157-1169
- **McColleston D L** (1979) Manganese and autologous-membrane-dependent anticancer autologous antigen preparation ('AAAP') for treating established cancer. *Biochem Soc Trans [proc.]* 7 (5): 1068-1069
- **McColleston D L** (1982) Manganese potentiation of autologous anti-Meth A tumor vaccines. A developmental study. *Cancer Immunol. Immunother.* 13 (2): 118-124
- **Mechelke F** (1976) Sexcorrelated complex heterozygosity in *Viscum album* L. *Naturwissenschaften* 63: 390-391
- **Meißner D** (2002) Mangan. In: Biesalski H K, Köhrle J, Schümann K: Vitamine, Spurenelemente und Mineralstoffe – Prävention und Therapie mit Mikronährstoffen. Stuttgart – New York: Georg Thieme Verlag: 233-234.
- **Melchior H** (1921) Über den anatomischen Bau der Saugorgane von *Viscum album* L. *Beitr. zur allgem. Bot.* 2 (2): 55-87
- **Mengel K, Kirkby E A** (1982) Principles of plant nutrition. (3rd ed.) Bern: Int. Potash Institute
- **Messenger S** (1986) Alkaline runoff, soil pH and white oak manganese deficiency. *Tree Physiology* 2: 317-325
- **Microsoft** (2004) Microsoft Excel 2004 für Mac, Version 11.0
- **Moewes F** (1918) Die Mistel. *Naturdenkmäler* Bd. 2, 6/7; Heft 16/17: 243-338
- **Montfort C, Müller L** (1951) Grundsätzliches zur Lebensrhythmik der Mistel (*Viscum album* L.) im jährlichen Längenzuwachs und in der Blattgestaltung. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 64: 297-303
- **Morgan P W, Taylor D M, Joham H E** (1976) Manipulation of IAA-oxidase-activity and auxin-deficiency symptoms in intact cotton plants with manganese nutrition. *Physiol Plant* 37: 149-156
- **Moyle R, Schrader J, Stenberg A, Olsson O, Saxena S, Sandberg G, Bhalerao R P** (2002) Environmental and auxin regulation of wood formation involves members of the *Aux/IAA* gene family in hybrid aspen. *The Plant Journal* 31 (6): 675-685
- **Munsell** (undatiert) Munsell Color Charts for Plant Tissues. Munsell Color, GretagMacbeth LLC, 617 Little Britain Road, New Windsor, New York 12553-6148.
- **Muravyeva D A, Popova O I** (1992) Amounts of mineral substances in *Viscum album* L. sprouts in relation to the host tree and soil composition. *Farmatsiya* 41 (1): 25-28
- **MWW** (2004) Medicine-Worldwide: Mangan. [Online 20. 6. 2006]: http://www.m-ww.de/gesund_leben/ernaehrung/mineral_spuren/mangan.html

- **Nagl W, Stein B** (1989) DNA characterization in host-specific *Viscum album* subspecies (*Viscaceae*). Pl. Syst. Evol. 166: 243-248
- **Neumann K H, Steward F C** (1968) Investigations on the growth and metabolism of cultured explants of *Daucus carota*. I. Effects of iron, molybdenum and manganese on growth. Planta (Berl.) 81: 333-350
- **Nierhaus-Wunderwald D, Lawrenz P** (1997) Zur Biologie der Mistel. Merkblatt für die Praxis: Birmensdorf 28: Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft: 1-8
- **Niggli U, Weibel F P, Potter C A** (1989) Unkrautbekämpfung mit organischen Bodenbedeckungen in Apfelanlagen: Auswirkungen auf Ertrag, Fruchtqualität und Dynamik des Stickstoffs in der Bodenlösung. Gartenbauwissenschaft 54 (5): 224-232
- **Nilsson U, Gemmel P, Löf M, Welander T** (1996) Germination and early growth of sown *Q. robur* L. in relation to soil preparation, sowing depths and prevention against predation. New Forests 12 (1): 69-86
- **Novacek F, Teterova I** (1987) Mineral interactions of the biostructure of mistletoe (*Viscum album* L.) parasitizing broadleaved trees and the deuteroxylem of various host trees. (Mineralni interakce jmeli listnaceveho (*Viscum album* L.) a deuteroxylemu ruznych hostitelu). Lesnictvi 33 (9): 811-828
- **Oberley L W** (2001) Anticancer therapy by overexpression of superoxid dismutase. Antioxid Redox Signal. 3(3): 461-472
- **Oberley LW** (2005) Mechanism of the tumor suppressive effect of MnSOD overexpression. Biomed Pharmacother. 59 (4): 143-148
- **Oberley L W, Buettner G R** (1979) Role of superoxide dismutase in cancer: a review. Cancer Res. 39 (4): 1141-1149
- **Oberritter H** (2002) Referenzwerte für die Nahrungszufuhr. In: Biesalski H K, Köhrle J, Schümann K: Vitamine, Spurenelemente und Mineralstoffe – Prävention und Therapie mit Mikronährstoffen. Stuttgart – New York: Georg Thieme Verlag: 251-260
- **Orgeas J, Ourcival J-M, Bonin G** (2003) Seasonal and spatial patterns of foliar nutrients in cork oak (*Quercus suber* L.) growing on siliceous soils in Provence (France). Plant Ecology 164 (2): 201-211
- **Overstolz A (Hg.)** (2005) Iscador – Mistelpräparate aus der anthroposophisch erweiterten Krebsbehandlung. Basel, Verlag für Ganzheitsmedizin
- **Panvini A D, Eickmeier W G** (1993) Nutrient and water relations of the mistletoe *Phorandendron leucarpum* (*Viscaceae*) - how tightly are they integrated? American Journal of Botany 80 (8): 872-878
- **Pate J S, True K C, Kuo J** (1991) Partitioning of dry-matter and mineral nutrients during a reproductive-cycle of the mistletoe *Amyema linophyllum* (Fenzl.) Tieghem parasitizing *Casuarina obesa* MIQ. Journal of Experimental Botany 42 (237): 427-439
- **Paul H (Hg.)** (1979) Wörterbuch der deutschen Pflanzennamen von Heinrich Marzell (aus dem Nachlaß herausgegeben). Stuttgart S. Hirzel Verlag, Wiesbaden Franz Steiner Verlag: Bd. 4: 1199-1200
- **Pavanasasivam V** (1973) Manganese studies in some soils with high organic matter content. Plant and Soil 38: 245-255

- **Penninckx V, Glineur S, Gruber W, Herbauts J, Meerts P** (2001) Radial variations in wood mineral element concentrations: a comparison of beech and pedunculate oak from the Belgian Ardennes. *Ann. For. Sci.* 58: 253-260
- **Perrot J** (2003) Immortelle verdeur. *La Salamandre* 157: 25
- **Pezeshki S R, DeLaune R D, Anderson P H** (1999) Effect of flooding on elemental uptake and biomass allocation in seedlings of three bottomland tree species. *Journal of Plant Nutrition* 22 (9): 1481-1494
- **Pfüller U** (2000) Chemical constituents of European mistletoe (*Viscum album* L.). In: Büssing A (ed.) *Mistletoe - The Genus Viscum*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers: 101-122
- **Pisek A** (1923) Chromosomenverhältnisse, Reduktionsteilung und Revision der Keimentwicklung der Mistel (*Viscum album* L.). *Jahrb. f. Wiss. Botanik* 62: 2-20
- **Plateau F** (1908) Note sur l'implantation et la pollination du gui (*Viscum album*) on Flandre. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique XLV*: 84-102
- **Popova O I, Muravyeva D A** (1992) Chlorophyll content in mistletoe (*Viscum album* L.). *Farmatsiya* 39 (6): 15-17
- **Popp M, Richter A** (1998) Ecophysiology of xylem-tapping mistletoes. In: *Progress in Botany*, Vol. 59; Berlin Heidelberg: Springer Verlag: 659-674
- **Possingham J V, Vesik M, Mercer F V** (1964) The fine structure of leaf cells of manganese-deficient spinach. *J. Ultrastructure Res.* 11: 68-83
- **Rademacher P** (2003) Atmospheric heavy metals and forest ecosystems. Work report for the Institute for World Forestry 2003/12. Online [http://www.bfafh.de/bibl/pdf/i_03_12.pdf]
- **Rademacher P** (2005a) Schwermetallgehalte in den Kompartimenten wichtiger Wirtschaftsbaumarten und deren Bedeutung für die Reststoffverwertung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 63: 220-230
- **Rademacher P** (2005b) Nährelementgehalte in den Kompartimenten wichtiger Wirtschaftsbaumarten und deren Bedeutung für die Reststoffverwertung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 63: 285-296
- **Radjagukguk B, Robson A D, Loneragan J F** (1988) Genotypic differences in manganese absorption, distribution and mobility in lupins. In: Webb M J, Nable R O, Graham R D, Hannam R J (Eds.) *International Symposium on Manganese in Soil and Plants: Contributed papers*. Manganese Symposium 1988 Inc., Adelaide: 57-58
- **Ramm H** (1990) Untersuchungen zum Einfluß dreier Böden auf Wachstum und Entwicklung der Eiche unter Berücksichtigung der Mykorrhiza und mit Blick auf die Eignung als Wirt für die Laubholzmistel (Diplomarbeit). Botanisches Institut Universität Basel
- **Ramm H, Urech K, Scheibler M, Grazi G** (2000) Cultivation and development of *Viscum album* L. In: Büssing A. (ed.) *Mistletoe - The Genus Viscum*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers: 75-94
- **Reitz M** (2005) Mit Zufallsbeobachtungen gegen den Krebs. *Neue Zürcher Zeitung* (Beilage Forschung und Technik) Nr. 232: 65
- **Rengel Z** (2000) Manganese uptake and transport in plants. In: Sigel A, Sigel H (eds.) *Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes*. New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 57-87

- **Rennenberg H, Schupp R, Schneider A** (1994) Thiol composition of xylem-tapping mistletoe and the xylem sap of its host. *Phytochemistry* 37 (4): 975-977
- **Richter G** (1988) *Stoffwechselphysiologie der Pflanzen*. 5. Aufl., Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- **Riopel J L, Timko M P** (1995) Haustorial initiation and differentiation. In: Press M C, Griwes J D, *Parasitic Plants*. London: Chapman & Hall: 39-79
- **Rusnak F** (2000) Manganese-activated phosphatases. In: Sigel A, Sigel H (eds.) *Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes*. New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 305-343
- **Sallé G** (1978) Origin and early growth of the sinkers of *Viscum album* L. *Protoplasma* 96: 267-273
- **Sallé G** (1979) The endophytic system of *Viscum album*: its anatomy, ultrastructure and relations with the host tissues. *Proc. 2nd Symposium on Parasitic Weeds*, North Carolina State University, Raleigh (USA): 115-128
- **Sallé G** (1981) Some biological aspects of *Viscum album* L. *Proc. 6th Symposium on Morphologie, Anatomie und Systematik*: Ulm
- **Sallé G** (1983) Germination and establishment of *Viscum album* L. In Calder D M, Bernhardt P (eds.) *The Biology of Mistletoes*. London: Academic Press: 145-159
- **Sallé G, Tuquet C, Raynal-Roques A** (1998) Biologie des phanérogames parasites – Biology of flowering parasitic plants. *C. R. Soc. Biol.* 192: 9-36
- **Saur E, Ranger J, Lemoine B, Gelpe J** (1992) Micronutrient distribution in 16-year-old maritime pine. *Tree Physiology* 10: 307-316
- **Savidge R A** (1988) Auxin and ethylene regulation of diameter growth in trees. *Tree Physiology* 4: 401-414
- **Schaller G, Urech K, Grazi G, Giannattasio M** (1998) Viscotoxin composition of the three European subspecies of *Viscum album*. *Planta Med.* 64: 677-678
- **Scheffer F, Schachtschabel P** (1979) *Lehrbuch der Bodenkunde*. Stuttgart: Enke
- **Schiller F** (1928) Zur Kenntnis der Frucht von *Viscum album* und *Loranthus europaeus* und der Gewinnung von Vogelleim. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien Math. Natw. Abt. I* 137 (3/4): 243-258
- **Schmidt M, Thomsen M, Betti G** (2005) WHO releases "Guidelines on Good Agricultural Practises" of herbs. *HerbalGram – The Journal of the American Botanical Council* 65: 22-24
- **Schnug E** (1982) Untersuchungen zum Einfluß bodenversauernder Düngung auf die Spurennährstoff-Versorgung von Kulturpflanzen. *Diss. Agrarwiss. Fak., Kiel*
- **Schnug E** (1985) Mikronährstoff-Mangel – ein Streßfaktor im ertragreichen Pflanzenbau. *Kali-Briefe (Büntehof)* 17 (6): 419-430
- **Schrader-Fischer G, Apel K** (1993) The anticyclic timing of leaf senescence in the parasitic plant *Viscum album* is closely correlated with the selective degradation of sulfur-rich viscotoxins. *Plant Physiology* 101: 745-749
- **Schöffski P, Riggert S, Fumoleau P, Campone M, Bolte O, Marreaud S, Lacombe D, Baron B, Herold M, Zwiezina H, Wilhelm-Ogunbiyi K, Lentzen H, Twleves C T** (2004) Phase I trial of intravenous aviscumine (rViscumin) in patients with solid tumors: a study of the European

organization for research and treatment of cancer new drug development group. *Annals of Oncology* 15: 1816-1824

- **Schulze E D, Turner N C, Glatzel G** (1984) Carbon, water and nutrient relations of two mistletoes and their hosts: a hypothesis. *Plant, Cell and Environment* 7: 293-299
- **Schwabe U, Paffrath D** (2006) *Arzneiverordnungsreport 2005*. Berlin Heidelberg, Springer Verlag
- **Schwambach J, Fadanelli C, Fett-Neto A G** (2005) Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology* 25: 487-494
- **Shrivastav A, Singh N K, Singh S M** (2002) Synthesis, characterization and antitumor studies of Mn(II), Fe(III), Co(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) complexes of N-salicyloyl-N'-o-hydroxythiobenzhydrazide. *Bioorg Med Chem* 10 (4): 887-895
- **Shrivastav A, Singh N K, Singh S M** (2002) Synthesis, characterization and antitumor studies of Mn(II), Ni(II), Cu(II) and Zn(II) complexes of N-salicyloyl-N'-o-hydroxythiobenzhydrazide. *Biometals* 16 (2): 311-320
- **Smialowicz R J, Luebke R W, Rogers R R, Riddle M M, Rowe D G** (1985) Manganese chloride enhances natural cell-mediated immune effector cell function: effects on macrophages. *Immunopharmacology* 9 (1): 1-11
- **Snow B K, Snow D W** (1988) Long-term defend of fruit by mistletoe trushes *Turdus viscivorus*. *IBIS* 126: 39-49
- **StatSoft** (1994) *STATISTICA/Mac* (Release 4.1), Tulsa, OK
- **StatSoft** (2001) *STATISTICA für Windows* (Release 6.0), Tulsa, OK
- **Steiner R** (1987) *Einleitungen zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften*. 4. Aufl.; Dornach/Schweiz: Rudolf Steiner Verlag
- **Steiner R** (1999) *Geisteswissenschaft und Medizin*. 7. Aufl.; Dornach/Schweiz: Rudolf Steiner Verlag
- **Steiner R** (2003) *Grundlinien einer Erkenntnistheorie der Goetheschen Weltanschauung*. 8. Aufl.; Dornach/Schweiz: Rudolf Steiner Verlag
- **Sterba H, Andrae F, Pambudhi F** (1993) Crown efficiency of oak stands as affected by mistletoe and coppice removal. *Forest Ecology and Management* 62 (1-4): 39-49
- **Stiebel H** (2003) *Frugivorie bei mitteleuropäischen Vögeln*. Dissertation, Carl-von Ossietzki-Universität Oldenburg
- **Strasburger E** (1991) *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. 33. Aufl., Stuttgart Jena New York, Gustav Fischer Verlag
- **Sun Y** (1990) Free radicals, antioxidant enzymes, and carcinogenesis. *Free Radicc Biol Med*. 8 (6): 583-599
- **Telle J** (1968) *Altdeutsche Eichentraktate*. *Centaurus* 13 (1): 37-61
- **Thoday D** (1951) The haustorial system of *Viscum album*. *J. of Experimental Botany* 2 (4): 1-19
- **Thoday D** (1956) Modes of union and interaction between parasite and host in the *Loranthaceae* I. *Viscoideae*, not including *Phoradendreae*. *Proc. Royal Soc. Botany* 145: 531-548

- **Thomas F M, Brandt T, Hartmann G** (1998) Leaf chlorosis in pedunculate oaks (*Q. robur* L.) on calcareous soils resulting from lime-induced manganese/iron-deficiency: Soil conditions and physiological reactions. *Journal of Applied Botany* 72 (1-2): 28-36
- **Thomas F M, Buettner G** (1998) Nutrient relations in healthy and damaged stands of mature oaks on clayed soils: Two case studies in northwestern Germany. *Forest Ecology and Management* 108 (3): 301-319
- **Trockenbrodt M** (1995) Calcium oxalate crystals in the bark of *Q. robur*, *Ulmus glabra*, *Populus tremula* and *Betula pendula*. *Annals of Botany London* 75(3): 281-284
- **Troll W** (undatiert) Goethes Morphologische Schriften. Herausgegeben von Wilhelm Troll. Düsseldorf, Eugen Diderichs Verlag
- **Trüby P** (1994) Impact of heavy metals on forest trees from mining areas. [Online, 15. 02. 2006] <http://www.ott.wrcc.osmre.gov/library/proceed/sudbury2003/sudbury03/156.pdf>
- **Tubeuf K** (1923) Monographie der Mistel. Berlin München, Oldenbourg Verlag
- **Unger G** (1987) Kurze Geschichte der Heilmittelzentrifuge des Instituts Hiscia unter Einbeziehung der Hinweise Rudolf Steiners zur Herstellung der Mistelpräparate. In Leroi R (Hg.) Misteltherapie. Eine Antwort auf die Herausforderung Krebs. Die Pioniertat Rudolf Steiners und Ita Wegmans. Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben: 45-57
- **Urech K** (2002) Die Eiche von Isigny-le-Buat – Wahrzeichen der Eichenmistel in Frankreich. *Mistelteiln 3: Arlesheim/Schweiz: Verein für Krebsforschung*: 4-13
- **Urech K, Scher J M, Hostanska K, Becker H** (2005a) Apoptosis inducing activity of viscin, a lipophilic extract from *Viscum album* L. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 57: 101-109
- **Urech K, Scher J M, Hostanska K, Becker H** (2005b) Triterpene der Mistel (*Viscum album* L.) in der "leimartigen" Substanz Viscin und ihre antiproliferative Wirkung. In: Scheer R, Bauer R, Becker H, Fintelman V, Kemper F H, Schilcher H (Hg.) Fortschritte in der Misteltherapie – Aktueller Stand der Forschung und klinische Anwendung. Essen: KVC Verlag (Karl und Verionica Carstens-Stiftung): 134-144
- **Venkataraman S, Jiang X, Weydert C, Zhang Y, Zhang HJ, Goswami PC, Ritchie JM, Oberley LW, Buettner GR** (2005) Manganese superoxide dismutase overexpression inhibits the growth of androgen-independent prostate cancer cells. *Oncogen* 24 (1):77-89
- **Vickers A** (2002) Botanical medicines for the treatment of cancer: Rationale, overview of current data, and methodological considerations for phase I and II trials. *Cancer Investigation* 20 (7-8): 1069-1079
- **Vielemeyer H-P, Fischer F, Bergmann W** (1966) Über den Einfluß der Eisen- und Manganernährung auf die Peroxidase- und Katalase-Aktivität sowie den Gehalt an löslichen Kohlehydraten in den Blättern landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Thaer-Archiv (Berlin)* 10: 727-745
- **Vielemeyer H-P, Fischer F, Bergmann W** (1969a) Untersuchungen über den Einfluß der Mikronährstoffe Eisen und Mangan auf den Stickstoff-Stoffwechsel landwirtschaftlicher Kulturpflanzen - 1. Mitteilung: Orientierende Untersuchungen über Stickstoff-Fractionen und Aminosäurezusammensetzung von Gesamthydrolysaten einiger Futterpflanzen. *Albrecht-Thaer-Archiv* 13 (4): 291-302

- **Vielemeyer H-P, Fischer F, Bergmann W** (1969b) Untersuchungen über den Einfluß der Mikronährstoffe Eisen und Mangan auf den Stickstoff-Stoffwechsel landwirtschaftlicher Kulturpflanzen - 2. Mitteilung: Untersuchungen über die Wirkung des Mangans auf die Nitratreduktion und den Gehalt an freien Aminosäuren in jungen Buschbohnenpflanzen. *Albrecht-Thaer-Archiv* 13 (4): 393-404
- **von Plato B (Hg.)** (2003) *Anthroposophie im 20. Jahrhundert. Ein Kulturimpuls in biographischen Porträts.* Dornach: Verlag am Goetheanum
- **Walldén B** (1961) Die Mistel an ihrer Nordgrenze. *Sv. bot. Tidskr.* 55: 526-543
- **Walter H.** (1953) *Der Krebs und seine Behandlung – Eine Sammlung von Krankengeschichten mit Hinweisen von Dr. Rudolf Steiner.* Stuttgart Arlesheim: Verein für Krebsforschung
- **Wangerin W** (1938) *Loranthaceae.* In: *Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Europas.* Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer
- **Weber H C** (1993) Untersuchungen zur Entwicklungsweise der Laubholzmistel *Viscum album* L. (*Viscaceae*) und über Zuwachsraten während ihrer ersten Stadien. *Beitr. Biol. Pflanzen* 67 (3): 319-331
- **Werner D** (1987) *Pflanzliche und mikrobielle Symbiosen.* Stuttgart, Georg Thieme Verlag
- **Weydert C, Roling B, Liu J, Hinkhouse M M, Ritchie J M, Oberley L W, Cullen J J** (2003) Suppression of the malignant phenotype in human pancreatic cancer cells by the overexpression of manganese superoxide dismutase. *Molecular Cancer Therapeutics* 2 (4): 361-369
- **Whittaker J W** (2000) Manganese superoxid dismutase. In: Sigel A, Sigel H (eds.) *Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes.* New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 587-611
- **WHO** (2003) *WHO guidelines on good agricultural and collection practises (GACP) for medicinal plants.* Geneva
- **Yoder D W, Hwang J, Penner-Hahn J E** (2000) Manganese catalases In: Sigel A, Sigel H (eds.) *Metal Ions in Biological Systems – Manganese and Its Role in Biological Processes.* New York Basel, Marcel Dekker Inc. Vol. 37: 527-557
- **Zeller O** (1976) Die Jahresrhythmik der Laubholzmistel *Viscum album* ssp. *album*. *Beitr. Erw. d. Heilkunst* 6: 3-20
- **Zimmermann J-L, Mulhauser B** (2005) *Seidenschwänze.* Editions Victor Attinger , Chaumont (CH).
- **Zuber D** (2004) Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. *Flora* 199: 181-203
- **Zumkley H, Kisters K** (1990) *Spurenelemente – Geschichte, Grundlagen, Physiologie, Klinik.* Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft

8 Anhang

Text-A.1: Mistelverehrung bei den gallischen Druiden nach Plinius

"Nichts haben die Druiden – so nennen sie ihre Priester – was ihnen heiliger wäre als die Mistel und der Baum, auf dem sie wächst, zumal wenn es eine Winterliche ist. Schon an sich suchen sie Haine von Winterlichen auf, und sie verrichten keine heilige Opferhandlung ohne deren Blätter, so dass man meinen könnte, ihr Name käme aus dem Griechischen (Drys, die Eiche). Wenigstens betrachten sie alles, was auf dieser wächst, als Himmelsgabe und als ein Zeichen, dass dieser Baum von dem Gott selbst auserwählt sei. Man findet die Mistel aber nur sehr selten auf ihr, und wenn man sie findet, wird sie mit grosser Feierlichkeit geholt und vor allem am 6. Tage nach Neumond, welcher bei ihnen den Anfang der Monate und Jahre angibt und auch einen Zeitabschnitt von 30 Jahren, weil der Mond schon kräftig genug sei und doch noch nicht die Hälfte seiner Grösse erreicht habe. Sie heissen in ihrer Sprache die Mistel die «alles Heilende». Nachdem sie unter dem Baume die gehörigen Opfer und Mahlzeiten veranstaltet haben, führen sie zwei weisse Stiere herbei, deren Hörner dann bekränzt werden. Der Priester, mit weissem Kleide angetan, besteigt den Baum, schneidet mit goldner Sichel die Mistel ab. In einem weissen Mantel wird sie aufgefangen. Dann schlachten sie die Opfertiere mit dem Gebet, die Gottheit möge ihre Gabe denen günstig werden lassen, welche sie damit beschenkt haben. In den Trank getan, soll sie [die Mistel] alle unfruchtbaren Tiere fruchtbar machen und ein Heilmittel gegen alle Gifte sein."

Textquelle: C. Plinius Secundus d. Ä.: «Naturalis historia». Lib. XVI, Cap. 95, Übertragung durch Tubeuf (1923).

Tab. A-1: Allgemeine Angaben zu natürlichen Eichenmistel-Standorten in Frankreich

STO	Spec	Alter	Nutz	MQ	BA	EA	MA		STO	Spec	Alter	Nutz	MQ	BA	EA	MA
1	rob	350	Gr	E	1				433	rob	100	Fo	E	1	1	1
2	rob	200	Fo	E	1	1	1		444	rob	60	Fo	S	1		
3	pet	100	Fo	E	1		1		445	rob	100	Ab	S	1		
7	rob	130	Ab	E	1	1	1		448	rob	50	Fo	S	1		1
14	pet	200	Fo	E	1		1		456	rob	150	Gr	E	1	1	1
22	pet	200	Fo	S	1				457	rob	60	Fo	E			1
37	pet	200	Fo	E	1	1	1		460	rob	60	Gr	E	1	1	1
38	rob	70	Gr	S	1		1		468	rob	20	Fo	S	1	1	1
48	pet	150	Fo	S	1				472	rob	50	Fo	S	1	1	
54	pet	140	Fo	S	1				475	rob	100	Gr	S	1	1	1
63	nb	130	Fo	E	1		1		495	rob	200	Gr	E	1	1	1
83	rob	130	Fo	E		1	1		507	rob	150	Ab	E	1	1	1
226	nb	90	Fo	E			1		510	rob	200	Ab	E	1	1	1
227	r/p	85	Fo	S	1				514	rob	80	Ab	S	1		
230	rob	100	Fo	E			1		520	r/p	10	Fo	S			1
260	rob	30	Fo	S	1	1	1		523	rob	100	Gr	S	1		
261	rob	100	Fo	S	1				527	rob	200	Gr	S	1	1	1
268	rob	85	Ab	S	1	1	1		533	rob	120	Ab	S	1		
290	rob	80	Fo	S	1				536	rob	200	Fo	E	1	1	1
298	rob	50	Fo	S	1				537	rob	100	Gr	S	1		
310	rob	100	Fo	S	1				541	rob	80	Gr	S	1		
320	pet	110	Gr	S	1				542	rob	50	Fo	E	1	1	1
330	rob	100	Fo	S	1				543	rob	90	Fo	S	1		1
331	rob	50	Fo	S	1		1		544	rob	70	Ab	S	1		
334	pet	50	Fo	S	1				547	rob	65	Ab	E	1	1	1
336	rob	50	Fo	S	1		1		549	rob	120	Fo	S	1		
337	rob	40	Gr	E	1	1	1		550	pet	35	Fo	S	1		
359	rob	60	Gr	E			1		551	rob	20	Fo	S	1		
378	rob	200	Fo	E			1		555	rob	70	Fo	S	1		1
379	rob	200	Gr	S	1				562	rob	110	Fo	S	1		1
385	rob	80	Fo	S	1				567	rob	30	Ab	S	1		1
392	rob	80	Ab	S	1				568	rob	80	Fo	E	1	1	1
396	rob	80	Gr	S	1				575	rob	120	Fo	E	1	1	1
400	rob	80	Fo	E		1	1		606	rob	120	Fo	E	1	1	1
416	rob	200	Gr	E	1	1	1		611	rob	40	Ab	E	1	1	1
431	pet	75	Fo	S	1	1	1		649	rob	140	Ab	E	1	1	1
432	rob	60	Fo	E	1	1	1									

Erläuterungen: STO = Bezeichnung gemäß Misteleichen-Register; Spec = Eichenart: rob = *Q. robur*, pet = *Q. petraea*, n.b. = nicht bestimmt, hyb = Hybride (*Q. robur* x *petraea*); Alter = geschätztes Alter der Eiche in Jahren; MQ = Mistelquantität: E = Ernteeiche, S = Saateiche; Nutz = generelle Standortnutzung: Ab = Ackerbau, Fo = Forst, Gr = Grünland (Wiese, Weide); BA = Bodenanalyse, EA = Eichenblattanalyse, MA = Mistelanalyse

Tab. A-2a: Verteilung unterschiedlicher Eichen auf pH_{KCl}-Klassen natürlicher Eichenmistel-Standorte

Eichen		extrem sauer	stark sauer	mäßig sauer	schwach sauer	schwach basisch
	pH _{KCl}	3.0-3.9	4.0 - 4.9	5.0 – 5.9	6.0 - 6.9	7.0 - 7.9
alle Eichen	n	14	24	14	8	5
Ernteeichen	n	2	14	3	2	3
Saateichen	n	12	10	11	6	2
Stieleichen (<i>Q. robur</i>)	n	6	21	14	8	4
Traubeneichen (<i>Q. petraea</i>)	n	8	1	0	0	1
andere	n	0	2	0	0	0

Erläuterung: pH_{KCl}-Klassen nach Scheffer-Schachtschabel (1979).

Tab. A-2b: Mittlere Bodenparameter in pH_{KCl}-Klassen natürlicher Eichenmistel-Standorte

Boden- parameter		extrem sauer	stark sauer	mäßig sauer	schwach sauer	schwach basisch
	pH _{KCl}	3.0-3.9	4.0 - 4.9	5.0 - 5.9	6.0 - 6.9	7.0 - 7.9
OS	%	4.1	4.7	4.7	6.6	5.4
pH _{H2O}		4.8	5.5	6.2	7.4	7.7
pH _{KCl}		3.7	4.5	5.4	6.7	7.1
P _{Citr}	g kg ⁻¹	0.039	0.157	0.203	0.160	0.214
K _{DL}	g kg ⁻¹	0.109	0.208	0.233	0.161	0.246
Ca _{extr}	g kg ⁻¹	0.258	0.995	2.13	8.71	10.2
Mg _{DL}	g kg ⁻¹	0.109	0.179	0.190	0.193	0.218
Fe _{extr}	mg kg ⁻¹	211	238	239	52.8	11.4
Mn _{extr}	mg kg ⁻¹	49.9	94.3	112	136	54.4
Zn _{extr}	mg kg ⁻¹	6.3	15.3	15.6	13.8	4.8
Cu _{extr}	mg kg ⁻¹	1.3	1.9	1.6	1.3	0.6

Erläuterung: pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbarer P-Gehalt, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- bzw. Mg-Gehalte; pH_{KCl}-Klassen nach Scheffer-Schachtschabel (1979);

Tab. A-3: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen in Bodenparametern natürlicher Eichenmistel-Standorte

Eichen	n	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
		%				g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹	
Ernteeichen	24	4.9 ^a	6.0 ^a	5.1 ^a	0.178 ^a	0.229 ^a	3.00 ^a	0.181 ^a	229 ^a	75.9 ^a	12.9 ^a	1.60 ^a
Saateichen	40	4.9 ^a	5.9 ^a	5.0 ^a	0.130 ^a	0.168 ^a	2.64 ^a	0.169 ^a	168 ^a	100 ^a	12.3 ^a	1.50 ^a

Erläuterung: pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbarer P-Gehalt, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- bzw. Mg-Gehalte; verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Tab. A-4: Ausreichende bzw. optimale Mineralstoff-Gehalte in Eichenblättern nach Literaturangaben

		van den Burg (1990)	Bergmann (1993)	EC-UN(ECE (1995)	Rademacher (2005a,b)
Element	Einheit	Optimum	ausreichende Gehalte	Optimum	Praxiserhebung
N	g kg ⁻¹	20.0 – 30.0	20.0 – 30.0	11.0 – 30.0	28.4
P	g kg ⁻¹	1.50 – 2.00	1.50 – 3.00	1.00 – 2.60	1.9
K	g kg ⁻¹	8.0 – 13.0	11.0 – 15.0	4.00 – 10.0	8.0
Ca	g kg ⁻¹	10.0 – 30.0	3.0 . –15.0	3.00 – 8.00	5.1
Mg	g kg ⁻¹	1.20 – 2.80	1.50 – 3.00	0.90 – 3.00	1.7
Fe	mg kg ⁻¹	29 (90) - 560		70.0 – 200	268
Mn	mg kg ⁻¹	> 100	35.0 – 100.0	100 – 2000	1680
Zn	mg kg ⁻¹	16.0 – 200.0	15.0 – 50.0	15.0 – 50.0	26.0
Cu	mg kg ⁻¹	2.00 – 70.0	6.00 – 12.0	3.00 – 20.0	9.0
B	mg kg ⁻¹	30.0 – 70.0	15.0 – 40.0		

Tab. A-5: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (g kg⁻¹) an Hauptelementen (N, P, K, Ca, Mg) in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden

Bodenreaktion	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
basisch	3	24.4 ^a	6	1.52 ^a	6	7.22 ^a	6	9.32 ^a	6	1.44 ^a
sauer	8	23.6 ^a	14	1.45 ^a	14	7.96 ^a	19	8.27 ^a	14	1.38 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-6: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Eichenarten im Gehalt (g kg⁻¹) an Hauptelementen (N, P, K, Ca, Mg) in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Eichenart	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
<i>Q. robur</i>	16	22.8 [°]	23	1.54 ^a	23	8.70 ^a	29	10.3 ^a	23	1.48 ^a
<i>Q. petraea</i>			2	1.47 ^a	2	11.3 ^a	2	4.10 ^a	2	1.39 ^a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; ° = Analysen nur von *Q. robur*.

Tab. A-7: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Eichenarten im Gehalt (mg kg⁻¹) an essentiellen Spurenelementen (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo) sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Eichenart	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
<i>Q. robur</i>	25	150 ^a	29	579 ^a	23	22.4 ^a	23	11.4 ^a	23	28.9 ^a	16	0.13 [°]	23	336 ^a	16	0.61 [°]
<i>Q. petraea</i>	2	175 ^a	2	467 ^a	2	31.4 ^a	2	14.2 ^a	2	18.9 ^a			2	203 ^a		

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an; ° = Analysen nur von *Q. robur*.

Tab. A-8: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Eichen	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
Ernteichen	13	23.5 ^a	19	1.52 ^a	19	8.71 ^a	25	9.29 ^a	19	1.48 ^a
Saateichen	3	20.4 ^a	6	1.56 ^a	6	9.51 ^a	6	12.3 ^a	6	1.44 ^a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-9: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Ernte- und Saateichen im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Eichen	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
Ernteichen	21	136 ^a	25	566 ^a	19	22.1 ^a	19	11.2 ^a	19	26.6 ^a	13	0.14 ^a	19	310 ^a	13	0.75 ^a
Saateichen	6	204 ^a	6	564 ^a	6	26.5 ^a	6	12.9 ^a	6	32.3 ^a	3	0.20 ^a	6	366 ^a	3	<0.09 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-10: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (g kg^{-1}) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden

Bodenreaktion	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
basisch	3	27.8 ^a	10	3.64 ^a	10	21.1 ^a	10	9.54 ^a	10	1.49 ^a
sauer	9	32.1 ^a	22	2.89 ^a	22	22.3 ^a	27	11.8 ^a	22	1.83 ^a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-11: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede im Gehalt (mg kg^{-1}) an essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten mit sauren bzw. basischen Böden

Bodenreaktion	n	Fe	n	Mn	n	Zn	n	Cu	n	B	n	Mo	n	Na	n	Co
basisch	10	85.3 ^a	10	195 ^a	10	19.3 ^a	10	12.6 ^a	10	25.9 ^a	3	0.16 ^a	10	644 ^a	3	0.69 ^a
sauer	24	100 ^a	27	873 ^a	22	23.0 ^a	22	16.6 ^a	22	31.1 ^a	9	0.151 ^a	22	914 ^a	9	1.61 ^a

Erläuterungen: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-12: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Eichenarten im Gehalt (mg kg⁻¹) an Hauptelementen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten

Eichenart	n	N	n	P	n	K	n	Ca	n	Mg
<i>Q. robur</i>	14	30.4°	32	3.34 ^a	32	24.5 ^a	38	12.1 ^a	32	1.68 ^a
<i>Q. petraea</i>	n.b.		4	3.11 ^a	4	25.2 ^a	4	8.09 ^a	4	1.64 ^a
Species n.b.	n.b.		2	3.90 ^a	2	32.4 ^a	2	11.1 ^a	2	1.16 ^a

Erläuterungen: ° = Analysedaten nur von *Q. robur*; verschiedene Buchstaben hinter den Werten in den Spalten geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) in der untersuchten Variablen an.

Tab. A-13: Korrelationsmatrix (r) für signifikante lineare Beziehungen zwischen Bodenparametern und Mineralstoffen in Eichenmisteln von natürlichen Eichenmistel-Standorten im April bzw. Oktober

		Mineralstoffe in Eichenmisteln						
		im April beprobt (n=5)				im Oktober beprobt (n=9)		
		Ca	Mg	Zn	B	P	Mg	Fe
Bodenparameter	pH _{H2O}	0.93	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	pH _{KCL}	0.93	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	K _{DL}	0.98	n.s.	-0.99	0.91	-0.72	n.s.	n.s.
	Ca _{extr}	0.94	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Mg _{DL}	n.s.	n.s.	-0.91	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Mn _{extr}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0.87	0.78
	Cu _{extr}	n.s.	0.95	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Erläuterung: pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbarer P-Gehalt, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- bzw. Mg-Gehalte.

Tab. A-14: Ca-abhängige Anreicherung (%) von Mineralstoffen in Eichenmisteln gegenüber Eichenblättern (=100%) von natürlichen Eichenmistel-Standorten im Juni

	N	P	K	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	8	17	18	17	19	23	17	17	17	8	17	8
Minimum	43.0	57.4	68.5	54.0	15.8	56.5	31.2	32.6	64.3	24.1	60.1	11.5
Maximum	118	236	525	121	119	213	110	128	153	110	524	588
Mittelwert	86.2	144	211	82.0	52.0	107	74.8	86.8	94.3	58.7	150	183
CV (%)	29.7	36.8	47.0	29.3	50.4	37.5	33.4	32.6	26.9	55.4	71.7	100.9

Erläuterung: Anreicherung berechnet als Quotient der auf den jeweiligen Ca-Gehalt bezogenen Mineralstoff-Konzentration in Eichenmistel und Eichenblättern.

Tab. A-15a: Allgemeine Angaben für kultivierte Eichenmistel-Standorte

Standort	Land	Kulturbeginn	Hektar	Vornutzung	Exposition	Feuchte	Licht
Charbuy	F	1990	2.00	Grünland	Ebene	sehr feucht	sonnig
Courcelon	CH	1990	0.94	Grünland	Ebene	mäßig feucht	sonnig
Disli	CH	1975	0.20	Grünland	Hang	mäßig feucht	halbschattig
Grindel	CH	1985	0.30	Grünland	Hang	normal feucht	halbschattig
Himmelried	CH	1980	0.90	Grünland	Ebene	mäßig feucht	sonnig
Höfli	CH	1978	1.20	Grünland	terass. Ebenen	trocken - naß	sonnig
Hiscia	CH	1985	0.02	Kalkschotter	Ebene	mäßig feucht	sonnig
Macon	F	1988	1.30	Grünland	Ebene	sehr feucht	sonnig
Nusshofen	CH	1990	1.25	Grünland	Ebene	normal feucht	halbschattig
Rösli	CH	1979	0.25	Grünland	Talsenke	normal feucht	schattig
Rotenburg	D	1990	2.00	Acker/Grünland	Hang	normal	sonnig

Tab. A-15b: Bodenparameter kultivierter Eichenmistel-Standorte

STO	Jahr	Monat	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
			%	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
Charbuy	2003	4	2.4	6.7	5.5	0.023	0.054	2.04	0.500	325	70.0	7.00	1.60
Courcelon	1990	10	7.2	7.9	7.0	0.076	0.091	12.5	0.150	1.00	15.0	1.00	0.30
Disli	1987	10	>9.0	7.7	6.8	0.059	0.029	15.5	0.140	1.00	3.00	1.00	1.00
Disli-oben*	1987	10	8.2	6.7	5.6	0.014	0.042	0.80	0.130	130	50.0	12.0	2.60
Grindel	2003	4	4.5	6.1	5.0	0.023	0.075	1.02	0.790	444	136	14.0	2.60
Himmelried	1988	4	5.1	6.2	5.4	0.065	0.042	3.00	0.200	110	100	25.0	4.60
Hiscia	2004	6	8.2	7.6	6.9	0.161	0.079	12.3	0.220	2.00	40.0	4.00	0.20
Höfli	1987	10	>9.0	7.7	6.9	0.061	0.025	13.9	0.193	1.00	7.00	1.00	0.70
Macon	1988	12	1.6	5.8	4.7	0.062	0.029	0.40	0.100	330	30.0	6.00	2.30
Nusshofen	1990	10	6.9	7.8	6.9	0.062	0.050	11.7	0.150	1.00	14.0	1.00	0.30
Rösli	1988	4	8.0	6.7	5.8	0.008	0.050	6.15	0.180	80.0	50.0	37.0	1.35
Rotenburg	1988	12	2.4	6.3	5.3	0.122	0.068	1.10	0.203	247	73.0	12.3	2.30

Erläuterungen: pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbarer P-Gehalt, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- bzw. Mg-Gehalte; STO = Standortbezeichnung; Jahr/Monat: Zeitpunkt der Probenahme; * = Disli-oben: begrenzte Fläche von 100 m² auf dem Standort Disli, die sich aufgrund geologischer Besonderheiten (siehe Kap. 3.3) bodenchemisch von der übrigen Standortfläche unterschieden hat, aber nicht in Berechnungen (deskriptive Statistik, statistische Sicherheit) für die Böden der kultivierten Eichenmistel-Standorte eingegangen ist.

Tab. A-16: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte (mg kg⁻¹) in Eichenblättern von verschiedenen kultivierten Eichenmistel-Standorten

Courcelon	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo	Na	Co
n	n.b.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	n.b.	2	n.b.
Mittelwert		1092	7655	10895	1554	72.0	265.5	31.3	19.8	9.8		304.0	
Minimum		1065	7031	10650	1445	63.0	41.0	29.7	15.5	9.0		260.0	
Maximum		1119	8278	11140	1662	81.0	490.0	32.9	24.0	10.5		348.0	
CV (%)		3.5	11.5	3.2	9.9	17.7	119.6	7.2	30.4	10.9		20.5	

Disli	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo	Na	Co
(n=1)	28400	1616	8933	16210	1226	83.7	123.6	40.8	23.0	8.9	0.20	311.0	0.28

Himmelried	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo	Na	Co
(n=1)	28400	3092	6981	21790	3570	123.7	430.0	43.1	39.3	11.4	0.09	223.0	0.09

Höfli	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo	Na	Co
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mittelwert	25025	1288	5000	15210	1850	61.3	17.9	44.9	17.7	10.9	0.09	301.0	0.34
Minimum	21400	1042	4287	10220	1720	44.0	9.7	26.0	16.5	7.2	0.09	223.0	0.09
Maximum	32700	1475	6269	21760	1948	82.3	26.2	79.2	19.3	15.6	0.09	499.0	0.69
CV (%)	20.7	14.5	18.8	31.5	5.5	28.6	39.5	52.3	6.7	33.9	0.0	44.0	73.3

Rösli	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo	Na	Co
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mittelwert	23425	1251	6915	9540	1635.5	104.1	396.3	33.0	21.0	10.8	0.13	292.3	0.63
Minimum	22500	1076	5867	7303	1538.0	71.4	143.5	25.8	14.2	8.4	0.09	255.0	0.25
Maximum	24900	1453	8287	13370	1754.0	131.8	680.0	50.2	29.6	12.0	0.24	349.0	1.00
CV (%)	4.4	14.6	17.4	29.9	5.9	27.8	71.6	35.3	30.5	15.2	58.8	15.2	51.3

Rotenburg	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo	Na	Co
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mittelwert	24175	1873	8301	9215	1546	118.9	1011.5	18.3	15.6	7.4	0.11	274.8	0.09
Minimum	21000	1079	6373	5236	1062	79.0	408.0	8.7	10.6	6.1	0.09	239.0	0.09
Maximum	28600	2771	11450	14870	2488	158.9	1742.0	23.8	21.0	8.8	0.17	309.0	0.09
CV (%)	14.6	37.3	27.8	44.0	43.4	34.0	55.6	36.7	28.8	15.8	36.4	10.7	0.0

Tab. A-17: Mittelwerte und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Beprobungsjahren im Gehalt an Hauptelementen und essentiellen Spurenelementen sowie Na und Co in Eichenblättern von kultivierten Eichenmistel-Standorten

Jahr	n	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
		g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹							
1988	2	22.3 ^a	1.35 ^a	6.03 ^a	9.69 ^a	1.69 ^a	94.0 ^a	289 ^a	16.9 ^a	12.8 ^a	29.4 ^a	0.09 ^a	353 ^a	0.65 ^a
1989	12	25.5 ^a	1.66 ^a	7.15 ^a	13.2 ^a	1.80 ^a	96.6 ^a	489 ^a	20.8 ^a	8.93 ^b	34.6 ^a	0.12 ^a	268 ^a	0.24 ^b
1990	2	n.b.	1.09 ^a	7.65 ^a	10.0 ^a	1.55 ^a	72.0 ^a	266 ^a	19.8 ^a	9.75 ^{ab}	31.3 ^a	n.b.	304 ^a	n.b.

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede (p < 0.05) an.

Tab. A-18: Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte (mg kg⁻¹) in Eichenmisteln von mehrfach beprobten kultivierten Eichenmistel-Standorten

Charbuy	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	n.b.	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittelw.				10565			907.0						
Minimum				9130			446.0						
Maximum				12000			1368.0						
CV (%)				19.2			71.9						

Courcelon	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	n.b.	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittelw.				8200			106.0	30.5					
Minimum				7200			66.0	28.0					
Maximum				9200			146.0	33.0					
CV (%)				17.2			53.4	11.6					

Grindel	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	n.b.	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittelw.				16300			275.5						
Minimum				15600			114.0						
Maximum				17000			437.0						
CV (%)				6.1			82.9						

Himmelried	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	1	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1
Mittelw.	36500	5307	32290	13467	4204	116.9	309.3	36.8	26.5	61.7	0.33	246	0.09
Minimum	36500	5307	32290	9900	4204	116.9	147.0	36.8	26.5	61.7	0.33	246	0.09
Maximum	36500	5307	32290	18100	4204	116.9	392.0	36.8	26.5	61.7	0.33	246	0.09
CV (%)	0.0	0.0	0.0	31.2	0.0	0.0	45.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Höfli	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	3	3	3	5	3	3	5	3	3	3	3	3	3
Mittelw.	36700	3405	16823	18992	2076	70.0	47.9	31.5	18.9	49.5	0.09	268	0.33
Minimum	32600	3026	15430	15420	1678	50.0	9.8	27.6	15.3	39.0	0.09	250	0.09
Maximum	38900	3604	18570	22200	2551	90.0	165.0	38.0	23.4	65.6	0.09	290	0.69
CV (%)	9.7	9.7	9.5	16.9	21.3	28.6	138.9	18.0	21.8	28.6	0.0	7.6	96.2

Hiscia	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	n.b.	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittelw.				22600			43.5						
Minimum				21000			36.2						
Maximum				24200			50.7						
CV (%)				10.0			23.6						

Macon	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	n.b.	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittelw.				10410			1069.0						
Minimum				9120			728.0						
Maximum				11700			1410.0						
CV (%)				17.5			45.1						

Tab. A-18 (Forts.): Deskriptive Statistik für Mineralstoff-Gehalte (mg kg⁻¹) in Eichenmisteln von mehrfach beprobten kultivierten Eichenmistel-Standorten

Nusshof	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	n.b.	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittelw.				15950			57.1						
Minimum				14500			30.8						
Maximum				17400			83.3						
CV (%)				12.9			65.1						

Rösli	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mittelw.	40875	3050	23300	13093	2455	99.1	622.8	37.3	17.4	44.0	0.12	382	1.54
Minimum	32900	2627	17480	12650	2249	68.7	175.0	22.1	15.0	36.5	0.09	285	1.14
Maximum	44800	3339	28310	13820	2649	147.4	1136.0	44.4	21.8	61.1	0.19	487	2.00
CV (%)	13.2	10.5	20.2	4.0	6.8	35.0	73.6	27.6	18.1	26.2	43.5	21.6	23.4

Rotenburg	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Na	Co
n	n.b.	n.b.	n.b.	4	n.b.	n.b.	4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittelw.				9010			705.8						
Minimum				7750			265.0						
Maximum				11800			1305.0						
CV (%)				21.2			61.7						

Tab. A-19: Bodenanalytische Parameter für Mistel- und Sammelkompost

Parameter		Mistelkompost	Sammelkompost
OS	%	> 9.0	> 9.0
pH _{H2O}		7.1	7.2
pH _{KCL}		6.8	6.8
P _{Citr}	g kg ⁻¹ Bd.	0.65	0.20
K _{DL}	g kg ⁻¹ Bd.	1.84	0.39
Ca _{extr}	g kg ⁻¹ Bd.	10.3	11.0
Mg _{DL}	g kg ⁻¹ Bd.	0.80	0.53
Fe _{extr}	mg kg ⁻¹ Bd.	2.00	1.00
Mn _{extr}	mg kg ⁻¹ Bd.	41.0	19.0
Zn _{extr}	mg kg ⁻¹ Bd.	16.0	13.0
Cu _{extr}	mg kg ⁻¹ Bd.	1.30	0.50

Erläuterung: pH_{H2O}/pH_{KCl} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbarer P-Gehalt, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- bzw. Mg-Gehalte.

Tab. A-20: Mittelwerte für Blattfarbe und Höhe von Eichensämlingen im Gefäßversuch und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden

Parameter / Termin der Bonitierung	"Kalk"	"Ton"	"Sand"
Blattfarbe / April 1992	2.91a	3.92b	4.46c
Blattfarbe / Juni 1992	3.21a	4.05b	4.02b
Blattfarbe / Oktober 1994	3.92a	3.99a	3.60a
Blattfarbe / Mai 1995	3.15a	3.39a	2.88a
Höhe (cm) / Juli 1990	24.6 a	32.2 b	44.9 c
Höhe (cm) / Juni 1993	46.7 a	68.6 b	79.0 b
Höhe (cm) / November 1998	92.2 a	99.2 a	104 a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-21: Mittelwerte für Blattfarbe und Höhe von Eichensämlingen im Gefäßversuch und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen verschieden behandelten "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden

Parameter / Termin der Bonitierung	unbehandelt	Mulch	Sammelkompost	Mistelkompost
Blattfarbe / April 1992	3.50a	4.00a	3.82a	3.83a
Blattfarbe / Juni 1992	4.22a	3.57a	3.79a	3.52a
Blattfarbe / Oktober 1994	3.93a	3.57a	3.89a	3.96a
Blattfarbe / Mai 1995	3.03ab	2.62a	3.16 ab	3.76b
Höhe (cm) / Juli 1990	30.0 a	31.1ab	42.6 b	n. b.
Höhe (cm) / Juni 1993	62.3 a	60.0 a	68.5 a	71.1 a
Höhe (cm) / November 1998	77.8 a	107 ab	112 b	101 ab

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-22: Mittelwerte für Blattfarbe und Höhe von Eichensämlingen im Gefäßversuch mit verschieden behandelten "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Saatgutherkünften

Parameter / Termin der Bonitierung	Q456	Q460	Q537
Blattfarbe / April 1992	3.67a	3.63a	3.97a
Blattfarbe / Juni 1992	3.00a	3.75ab	3.94b
Blattfarbe / Oktober 1994	4.03a	3.91a	3.72b
Blattfarbe / Mai 1995	3.23ab	3.49a	2.78b
Höhe (cm) / Juni 1993	46.3 a	64.2 a	69.9 a
Höhe (cm) / November 1998	80.0 a	101 a	99.4 a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-23: Mittelwerte für die Anzahl überlebender Mistelkeime auf Eichensämlingen im Gefäßversuch mit verschieden behandelten "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen den Behandlungen

Termin der Bonitierung	unbehandelt	Mulch	Sammelkompost	Mistelkompost
Februar 1992	5.01a	5.33a	5.88a	7.44a
April 1993	5.22a	4.00a	7.13a	6.44a
Juni 1993	4.44a	3.78a	6.13a	5.89a
November 1993	5.00a	4.44a	7.13a	6.89a
November 1994	3.11a	3.33a	3.75a	6.44a
Mai 1995	3.22a	3.11a	2.88a	5.56a
April 1997	5.67a	4.50a	3.88a	5.13a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-24: Mittelwerte für die Anzahl überlebender Mistelkeime auf Eichensämlingen im Gefäßversuch mit verschieden behandelten "Kalk"-, "Ton"- und "Sand"-Böden und statistische Sicherheiten für Unterschiede zwischen Saatgutherkünften

Termin der Bonitierung	Q456	Q460	Q537
Februar 1992	10.0 a	6.06a	5.00a
April 1993	3.67a	6.25a	5.44a
Juni 1993	3.33a	5.44a	4.94a
November 1993	4.33a	6.38a	5.56a
November 1994	6.00a	4.94a	3.06a
Mai 1995	4.67a	4.31a	2.94a
April 1997	5.00a	4.80a	4.81a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-25: Bodenparameter der Baumschul-Standorte Bromli und Zinnli

Parameter		Bromli	Zinnli
OS	%	12.5	7.8
pH _{H2O}		7.7	7.7
pH _{KCL}		6.8	6.8
P _{Citr}	g kg ⁻¹ Bd.	0.37	0.44
K _{DL}	g kg ⁻¹ Bd.	0.17	0.20
Ca _{extr}	g kg ⁻¹ Bd.	13.3	14.1
Mg _{DL}	g kg ⁻¹ Bd.	0.35	0.33
Fe _{extr}	mg kg ⁻¹ Bd.	2.0	1.0
Mn _{extr}	mg kg ⁻¹ Bd.	60.0	30.0
Zn _{extr}	mg kg ⁻¹ Bd.	32.0	19.0
Cu _{extr}	mg kg ⁻¹ Bd.	1.5	1.2

Erläuterung: pH_{H2O}/pH_{KCL} = im H₂O- bzw. KCl-Extrakt gemessene pH-Werte; [Ca, Fe, Mn, Zn, Cu]_{extr} = mit HCl/H₂SO₄ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbarer P-Gehalt, [K, Mg]_{DL} = mit Doppellactat extrahierbare K- bzw. Mg-Gehalte.

Tab. A-26: Direktsaat und Selektion mistelempfänglicher Eichen auf Saatplätzen mit Erstaussaat

Keimjahr	Plätze	Sorte	n-Pl	n-Saat	n-K	%K	N-Q	MeQ	%MEK	%MEQ	MePl	%MEPl	t-Me
1991	46	Q3	17	782	140	18	35	15	10.7	42.9	11	23.9	5.7
1992	21	Q1	7	147	61	41	28	9	14.8	32.1	7	33.3	8.2
1993	20	Q2 / Q1 _{FI}	17	340	120	35	32	12	10.0	37.5	4	20.0	4.3
1994	22	Q1	15	330	39	12	7	3	7.7	42.9	3	13.6	10.0
1999	11	GröMe _{FI}	20	220	8	4	8	2	25.0	25.0	1	9.1	6.0
Summe	120			1819	368		110	41			26		
Mittelwert			15.2			20.2			11.1	37.3			

Erläuterungen: Plätze = Anzahl Saatplätze; Sorte = Mutterbaum des Eichensaatgutes; n-Pl = Anzahl ausgesäte Eicheln pro Saatplatz; n-Saat = Anzahl insgesamt ausgesäter Eicheln; n-K = Anzahl (gekeimter) Eichensämlinge nach einem Jahr; %K = mittlere Keimprozentzahl; n-Q = Anzahl wachsende Eichen pro Saatplatz im Zeitpunkt der Selektion des ersten mistelempfänglichen Baumes; Me-Q = Anzahl mistelempfänglicher Bäume pro Saatplatz; %MEK = Prozent mistelempfängliche Eichen bezogen auf die Anzahl (gekeimter) Eichensämlinge nach einem Jahr; %MEQ = Prozent mistelempfängliche Eichen bezogen auf die Anzahl wachsender Eichen im Zeitpunkt der Selektion des ersten mistelempfänglichen Baumes; Me-Pl = Gesamtzahl Saatplätze mit mistelempfänglichen Eichen; %MePl = Prozent besäter Saatplätze mit mistelempfänglichen Eichen; t-Me = mittlere Anzahl Jahre ab dem Keimjahr bis zur Selektion der mistelempfänglichen Eichen.

Tab. A-27: Direktsaat und Selektion mistelempfänglicher Eichen von Saatplätzen mit Nachsaat

Keimjahr	Plätze	Sorte	n-Pl	n-Saat	n-K	%K	n-Q	MeQ	%MEK	%MEQ	MePl	%MEPl	t-Me
1992	8	Q1	7	56	6	11	1	1	16.7	100.0	1	12.5	10.0
1992	9	Q1 _{FI}	9	81	0	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	32	Q1	22	704	336	48	86	18	5.4	20.9	16	50.0	7.5
1995	17	Q1	22	374	43	11	8	3	7	37.5	2	11.8	8.0
1995	4	Q?	22	88	32	36	-	-	-	-	-	-	-
1995	2	Q?	15	30	4	14	-	-	-	-	-	-	-
1995	5	Q1 _{alt}	22	110	5	5	-	-	-	-	-	-	-
1996	8	Q14	25	200	27	14	-	-	-	-	-	-	-
1996	5	Q3	30	142	8	5	-	-	-	-	-	-	-
1996	7	Q44	19	133	3	2	1	1	33.3	100.0	1	14.3	7.0
1996	3	Q _{kauk}	6	19	11	58	-	-	-	-	-	-	-
1999	3	Q1F1	35	105	32	30	5	1	3.1	20.0	1	33.3	5.0
1999	2	Q83 _{G80}	35	70	26	37	12	3	11.5	25.0	1	50.0	5.0
1999	2	Q1 _{G80}	40	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	6	Q14	20	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	2	Q38	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	2	Q32	20	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	9	Q _{kl}	20	184	3	2	-	-	-	-	-	-	-
Summe	126			2576	536		113	27			22		
Mittelwert			21.6			20.8			5.0	23.9			

Plätze = Anzahl Saatplätze; Sorte = Mutterbaum des Eichensaatgutes; n-Pl = Anzahl ausgesäte Eicheln pro Saatplatz; n-Saat = Anzahl insgesamt ausgesäter Eicheln; n-K = Anzahl (gekeimter) Eichensämlinge nach einem Jahr; %K = mittlere Keimprozentzahl; n-Q = Anzahl wachsende Eichen pro Saatplatz im Zeitpunkt der Selektion des ersten mistelempfänglichen Baumes; Me-Q = Anzahl mistelempfänglicher Bäume pro Saatplatz; %MEK = Prozent mistelempfängliche Eichen bezogen auf die Anzahl (gekeimter) Eichensämlinge nach einem Jahr; %MEQ = Prozent mistelempfängliche Eichen bezogen auf die Anzahl wachsender Eichen im Zeitpunkt der Selektion des ersten mistelempfänglichen Baumes; Me-Pl = Gesamtzahl Saatplätze mit mistelempfänglichen Eichen; %MePl = Prozent besäter Saatplätze mit mistelempfänglichen Eichen; t-Me = mittlere Anzahl Jahre ab dem Keimjahr bis zur Selektion der mistelempfänglichen Eichen.

Tab. A-28: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten im Gehalt (mg kg^{-1}) an potentiell toxischen Elementen in Eichenblättern und Eichenmisteln von natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten

Monat	Eichenblätter					Eichenmistel				
	Al	Pb	Ni	Cr	Cd	Al	Pb	Ni	Cr	Cd
Juni	99.5a	2.93a	1.14a	0.57a	0.43a	122a	3.72a	3.14a	0.17a	0.31a
Oktober	124a	0.84a	1.30a	0.36a	0.09a	127a	1.87a	1.56a	0.21a	<0.09a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-29: Mittelwerte und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten im Gehalt (mg kg^{-1}) an potentiell toxischen Elementen in Eichenblättern und Eichenmisteln

Standorte	Eichenblätter					Eichenmistel				
	Al	Pb	Ni	Cr	Cd	Al	Pb	Ni	Cr	Cd
natürlich	115.9a	2.35a	1.13a	0.55a	0.27a	118.0a	3.47a	2.50a	0.15a	0.15a
kultiviert	87.7a	1.62a	1.31a	0.39a	0.31a	136.8a	2.02a	2.31a	0.23a	0.29a

Erläuterung: Verschiedene Buchstaben hinter den Werten einer Spalte geben signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) an.

Tab. A-30: Mittelwerte für die Verlagerung (%) von potentiell toxischen Elementen in Eichenmisteln, verglichen mit Eichenblättern (=100%), und statistische Sicherheit für Unterschiede zwischen Beprobungsmonaten sowie zwischen natürlichen und kultivierten Eichenmistel-Standorten mit basischen bzw. sauren Böden

Monat	Al	Pb	Ni	Cr	Cd		Boden	Al	Pb	Ni	Cr	Cd
Juni	179a	404a	261a	59.4a	168a		basisch	167a	91.7a	225a	103 a	237
Oktober	116	125a	249a	90.7a	100a		sauer	160a	402 a	286a	55.1a	89.2

Tab. A-31: Bodenparameter eines Kiefernmistel-Erntestandortes

Standort	Jahr	Monat	OS	pH _{H2O}	pH _{KCl}	P _{Citr}	K _{DL}	Ca _{extr}	Mg _{DL}	Fe _{extr}	Mn _{extr}	Zn _{extr}	Cu _{extr}
			%										
Kiefer	2004	6	2.3	8.0	6.7	0.042	0.037	12.6	0.130	3.00	11.0	1.00	0.30

Erläuterung: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{pH}_{\text{KCl}}$ = im H_2O - bzw. KCl -Extrakt gemessene pH-Werte; $[\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Zn}, \text{Cu}]_{\text{extr}}$ = mit $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$ extrahierbare Gehalte; P_{Citr} = mit Citrat extrahierbarer P-Gehalt, $[\text{K}, \text{Mg}]_{\text{DL}}$ = mit Doppellactat extrahierbare K- bzw. Mg-Gehalte.